Marentes, Rafael

Armonia universal; ó, Nuevo sistema del mundo

Zacatecas

1914

# BIBLIOGRAPHIC MICROFORM TARGET

ORIGINAL MATERIAL AS FILMED - EXISTING BIBLIOGRAPHIC RECORD


Marentes, Rafael
Armonía universal; ó, Nuevo sistema del mundo.
Zacatecas, México, García, 1914.
ii, 214 p. illus., diagrs. 24 cm.

Only Ed.



## TECHNICAL MICROFORM DATA

FILM SIZE: 35mm REDUCTION RATIO: 13:1 IMAGE PLACEMENT: IA (IIA) IB IIB

DATE FILMED: 2-5-97 INITIALS: PB

TRACKING # : 21180

# ARMONIA UNIVERSAL

O

# NUEVO SISTEMA DEL MUNDO

POR

RAFAEL MARENTES



ZACATECAS. - MEXICO

1914

TIPOGRAFIA DE ENR. GARCIA.-ZAC.

ROSALES, 32

# PROLOGO.

La publicación del presente volúmen no tiene otro objeto que dar á conocer algunas ideas nuevas relativas al sistema del Mundo; deseando por este medio contribuir de algún modo, á la propagación de esta clase de estudios en nuestra patria.

México, por muchos motivos está llamado á ser una gran nación; pero como decían ya el año de 1872 los redactores de los Anales de la Sociedad de Humboldt: «Las circunstancias mismas á que esto se debe, hacen que México sea para todo, el país de las grandes dificultades, y este país puede desvanecerse si no tiene por base, á la vez que el patriotismo, la ilustración de los mexicanos.»

La primera parte de la obra se ocupa de refutar, la teoría de la gravitación universal formulada por Newton, proponiendo en su lugar la teoría del magnetismo. En la segunda parte se da á conocer el verdadero mecanismo del Sol, demostrando que este es un manantial inagotable.

Abrigamos la creencia de que las nuevas doctrinas llegarán á ser admitidas; porque la verdad tiene, por sí misma, una fuerza irresistible. Por otra parte no pensamos haber

llevado á cabo una obra extraordinaria: tales sistemas son un fruto natural y espontáneo de la ciencia actual. Tan es esto así que los aparatos, que sirven para comprobar experimentalmente la teoría sobre el sistema del Mundo, fueron desde hace tiempo inventados.

Se han consultado varias obras para escribir la presente, debiendo hacerse especial mención de las siguientes: el Tratado de Física y de Meteorología, por A. Ganot; el Curso de Cosmografía. por Ch. Briot; el Cosmos, por Alejandro de Humbolt; Las Fuerzas Físicas, por A. Cazin; y El Sol, por A. Secchi.

Secchi, eminente sabio y concienzudo observador, ha dejado la obra mas completa que se conoce sobre el Sol; por esto lo hemos escogido por guia, aunque no aceptamos todas sus conclusiones. Así, el ilustre astrónomo de Reggio, partiendo del supuesto de que el Sol tiene una temperatura elevadísima deduce que su estado debe de ser gaseoso; afirmaciones enteramente contrarias á las teorías que aquí se exponen.

# PRIMERA PARTE.

## MECANICA CELESTE.

## CAPITULO I.

**Diferentes sistemas del mundo. - Teoría de la gravitación universal. - No debe aceptarse sin discusión.**

Varias concepciones, complicadas é ininteligibles unas, sencillas y sublimes otras, han sido ideadas para explicar el mecanismo del Universo. Desde la antigüedad griega los filósofos hablaban de fluidos imponderables que bajo el imperio de fuerzas desconocidas producían los movimientos visibles de los astros.

Descartes juzgaba que los espacios del cielo estaban llenos de una materia sutilísima, la cual se movía desde la creación del mundo en un perpetuo vórtice ó remolino. Admitía que el Sol era el centro de ese vórtice, y que alrededor de él giraban los planetas, entre los cuales contaba también la Tierra. La causa del movimiento de los planetas era el mismo vórtice que los arrebataba consigo; y como cuanto más

distaba del Sol la materia era mayor su giro, forzosamente había de gastar más tiempo en dar la vuelta; encontrándose en esto la razón por qué los planetas cuanto más distan del Sol, tanto más tiempo emplean en dar la vuelta á su alrededor.

Este sistema está hoy abandonado; entre otras razones se objeta que ciertos cuerpos celestes como son los cometas se mueven en distinta dirección que los planetas; y de ser cierta la teoría cartesiana, los torrentes que arrastraban estas dos clases de cuerpos se encontrarían originándose grandes perturbaciones en los movimientos, como sucede con un barco que lleva la corriente si pasa de costado por la desembocadura de un río, sufre mudanza en su dirección. En los cuerpos del sistema solar no se observa nada semejante.

Descartes, según se ha observado, era un gran filósofo cuando se trataba de Dios y del alma; pero el uso exclusivo que hacía del método deductivo, fué la causa de que incurriera en graves errores como físico.

El movimiento de traslación de los planetas no es uniforme; así se advirtió desde las primeras observaciones al estudiar la ascención recta del Sol y su movimiento en longitud. Los antiguos, que tenían ideas falsas acerca de las posiciones y movimientos de los cuerpos celestes, idearan, para explicar las irregularidades en el movimiento aparente del Sol, la teoría de los epiciclos y la del excéntrico; más el inmortal astrónomo Kepler, nacido en Wurtenberg el año de 1571, fué quién descubrió las leyes de las revoluciones planetarias. Para llegar á este descubrimiento Kepler observó Marte, cuya órbita más excéntrica que la de la Tierra podía dar mejores indicios para resolver el problema; y además por cálculos fundados en las observaciones de Ticho-Brahe, logró descubrir la forma de las órbitas planetarias.

La teoría de Kepler se resume en estas tres leyes:

1ª Todos los planetas describen alrededor del Sol



elipses con un foco común que coincide con el centro del Sol.

2ª El radio vector de cada planeta describe areas que crecen proporcionalmente á los tiempos.

3ª Los cuadrados de los tiempos de las revoluciones de los planetas son entre sí como los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas.

Las leyes de Kepler llevan ya el gérmen de la teoría que predomina en la actualidad, á la que su autor, el profundo pensador inglés, Isaac Newton, designó con el nombre de teoría de la atracción universal.

Dadas las leyes keplerinas se trató de buscar la causa física del movimiento de los cuerpos celestes suponiéndose desde luego que esa causa debía residir en el Sol. El estudio de la gravedad ó atracción, fuerza en cuya virtud caen los cuerpos en la superficie de la Tierra, hizo nacer la idea de que los movimientos de los cuerpos celestes procedían también de una mutua atracción.

He aquí brevemente cuales son los cálculos matemáticos de los que se deduce la ley de la atracción:

Se demuestra en mecánica que la fuerza necesaria para producir el movimiento circular uniforme, fuerza dirigida hacia el centro y llamada por esto fuerza centrípeta, es igual á la masa del cuerpo, multiplicada por el cuadrado de la velocidad, y dividida por el radio del círculo. Si se representa por *m* la masa del cuerpo, por *v* su velocidad, por *r* el radio del círculo que describe, la fuerza centrípeta se expresa por la fórmula $\frac{m\ v^2}{r}$; es proporcional al cuadrado de la velocidad, y está en razón inversa del radio. Designando por T la duración de la revolución, y teniendo en cuenta que $v = \frac{2 \pi r}{T}$, se encuentra esta otra expresión de la fuerza centrípeta, $\frac{4 \pi^2 m r}{T^2}$.

Para llegar á la ley de la atracción, tomando en cuenta que los planetas describen alrededor del Sol curvas sensiblemente circulares con una velocidad más ó menos constante, se calcula así: Sean *r* y *r'* las distancias de dos plane-

tas al Sol, T y T' la duración de sus revoluciones, *m* y *m'* las masas, F y F' las fuerzas centrípetas que los solicitan, se tendrá:

$$F = \frac{4\ n^2\ m\ r}{T2},\ F' = \frac{4\ n^2\ m'\ r'}{T'2};$$

de donde se deduce:

$$\frac{F}{F'} = \frac{m}{m'} \times \frac{r}{r'} \times \frac{T^2}{T'2};$$

pero, en virtud de la tercera ley de Kepler, se tiene

$$\frac{T'2}{T2} = \frac{r'3}{r3},$$

luego

$$\frac{F}{F'} = \frac{m}{m'} \times \frac{r'2}{r2}$$

Así es que la atracción que el Sol ejerce sobre los planetas es proporcional á las masas, é inversamente proporcional al cuadrado de sus distancias al centro del Sol. Si la distancia del planeta al Sol llega á ser doble, la atracción llega á ser cuatro veces más pequeña; si la distancia es tres veces mayor, la atracción llega á ser nueve veces más pequeña, etc.

El movimiento de la Luna proporcionó á Newton una verificación de su ley de atracción. En efecto, calculando la fuerza centrípeta capaz de hacer describir á la Luna su círculo alrededor de la Tierra, se sabe que esa fuerza, para cada unidad de masa es igual al cuadro de la velocidad, dividido por el radio del círculo. La Luna recorre 1,020 metros por segundo: su distancia, al centro de la tierra, es 60 veces el radio terrestre, ó sea 6.360,000 x 60 metros; se encuentra así, para la fuerza centrípeta,

$$\frac{1920^2}{6.360,000 \times 660} = 0.00272.$$

Tal es la atracción que la Tierra ejerce sobre cada



unidad de masa de la Luna. Por otra parte, las experiencias sobre la caída de los cuerpos y las oscilaciones del péndulo dan para la intensidad de la pesantez en la superficie de la Tierra el número 9, 8; es la atracción de la Tierra sobre la unidad de masa á una distancia del centro igual al radio de la tierra. Comparando los dos números 0,00272 y 9, 8, se ve que el primero es 3600 veces más pequeño que el segundo. Se concluye de aquí que la atracción de la Tierra á la distancia de la Luna es 3600 veces más pequeña que la atracción en su superficie; ahora bien, la distancia de la Luna al centro de la Tierra es igual á 60 radios terrestres y 3600 es el cuadrado de 60. Se encuentra así la ley de el cuadrado de las distancias.

En estos últimos tiempos el descubrimiento del planeta Neptuno se ha llegado á considerar como la verificación más cabal y perfecta de la teoría de Newton. La existencia de ese cuerpo, como se sabe, no fué revelada por el telescopio, sino por una investigación de orden matemático basada en las leyes de referida teoría.

Habiéndose observado algunas perturbaciones en los movimientos de Urano, que no podían explicarse por la acción del Sol ni de la de los demás planetas conocidos se sospechó la existencia de otro cuerpo celeste; llegándose á demostrar por medio del cálculo que las perturbaciones del planeta Urano se explicaban si el planeta hipotético tuviera cierta masa y se moviera en determinada órbita. El inglés Adams y el Frances Le-Verrier consiguieron resolver el problema. Buscándose, con el telescopio, el nuevo planeta, en la región del cielo en que había dicho, de antemano, que debería estar colocado, se descubrió en efecto; y se ha hecho clásica la cita de ese descubrimiento para demostrar que la teoría de Newton debe, según se dice, elevarse á la categoría de una verdad científica comprobada.

La teoría neutoniana se apoya en hechos observados;

los cálculos son rigurosamente exactos y por tanto inobjetables; todavía más las leyes formuladas por Newton, esto es, que los cuerpos se atraen ó parece que se atraen mutuamente, y que esa energía crece como la masa y disminuye como el cuadrado de la distancia, (salvo las restricciones que más adelante se expondrán,) son seguramente ciertas.

Mas la teoría de la atracción universal no se limita á sostener los principios que hasta aquí se han estudiado, tiene una segunda parte: la fuerza atractiva no puede por sí sola producir el movimiento de los astros. El Sol, cuya masa es mucho mayor que la de cualquiera de los otros cuerpos que giran á su alrededor, ejercería sobre ellos una fuerza que notablemente prepondera sobre la que reside en cada planeta y si no existiera otra fuerza, todos ellos caerían sobre el cuerpo central, como cae la piedra en virtud de la gravedad. Esa fuerza que contrarresta la atracción, suponía Newton ser un impulso inicial, instantáneo al cual estuvieron sujetos los cuerpos del sistema al dar principio á su carrera. La segunda parte de la teoría neutoniana es la que se impugna. Sin negar la atracción se niega que el movimiento armónico y eterno, en orbitas elípticas, de los cuerpos que giran alrededor del Sol, sea resultado de la atracción únicamente, ó de la atracción combinada con otra fuerza inicial desaparecida desde que el sistema comenzó á funcionar, es decir, desde el primer momento que existió el Cosmos, tal como ahora se conoce.

El prestigio del nombre de Newton ha sido causa de que su teoría subsista por el respeto y admiración que despiertan los grandes maestros, cuyas enseñanzas contienen á menudo importantes verdades mezcladas con algunos errores. Ejemplo de esto es Aristóteles y los esfuerzos que se hicieron para combatir su autoridad cuando dominaba exclusivamente en las escuelas. Si se quiere, sin embargo, extender y completar los conocimientos es preciso, siguiendo los pre-



ceptos de la Filosofía exprimental, no rechazar sistemáticamente toda inovación en la enseñanza, sino, por el contrario, suscitar la discusión y la crítica seria de cualesquiera teorías para discernir, en la ciencia, la verdad del error.

## CAPITULO II.

**¿Porquè los planetas no caen en el Sol? - La demostración gráfica de que hacen uso los sostenedores de la teoria neutoniana para explicar ese fenómeno, envuelve un paralogismo. - Argumento de la bala de cañón.**

Aunque la tierra así como los demás cuerpos del sistema han sido atraídos por el Sol durante miles de años, se hallan ahora tan lejos del cuerpo central como lo estaban antes.

Los autores emplean geneneralmente una figura con la cual tratan de demostrar cómo la combinación de la fuerza inicial y de la gravedad producen el movimiento de los cuerpos celestes en órbitas regulares elípticas. Esa demostración, que contiene consideraciones mecánico-geométricas, es sofística.

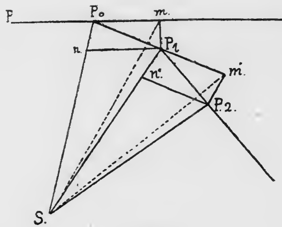



Figura 1

Se razona así:

«Supóngase un cuerpo P. (fig. 1), que recibe un impulso instantáneo en la dirección PP', en cuya virtud quedará animado de un movimiento uniforme, es decir, que recorrerá espacios iguales en tiempos iguales. Ahora bien se representa una fuerza por el espacio que recorre el móvil en la unidad de tiempo, en un segundo por ejemplo.

En el caso que se analiza si se supone que el móvil recorre en un segundo el espacio $P_0$ m, esta cantidad representa la fuerza inicial que dejó de obrar y que puso en movimiento el cuerpo P. Supongáse que al llegar éste al punto $P_0$ se le imprime otro impulso instantáneo $P_0$ n. en otra dirección. El cuerpo seguirá, de acuerdo con un principio conocido en mecánica con el nombre de paralelógramo de las fuerzas, la dirección de la diagonal $P_0$ $P_1$ del paralelógramo formado por las dos rectas $P_0$ m y $P_0$ n. Sin otro nuevo impulso el móvil continuaría en la misma dirección $P_0$ $P_1$ recorriendo una distancia igual á $P_0$ m, en el siguiente segundo; pero si suponemos otro nuevo impulso en el punto $P_1$, en la dirección $P_1$ S y que se representa por $P_1$ n', el móvil recorrerá en un segundo la diagonal $P_1$ $P_2$. Con nuevos impulsos dirigidos



todos al mismo punto S, el cuerpo seguirá en su movimiento una linea poligonal ó quebrada $P_0$ $P_1$ $P_2$."....(Anguiano. Tratado de Cosmografía pág. 222.)

La forma de esa linea, que se supone representa el camino que sigue un planeta solicitado por las dos fuerzas mencionadas, puede variar según las dimensiones que se den á la diagonal del paralelógramo. En la figura que ha servido para la demostración resulta que el móvil P se conserva siempre á la misma distancia de S. porque la linea $P_0$ $P_1$ es igual á $P_1$ $P_2$ y si se siguen construyendo los paralelógramos con idénticas diagonales se hará llegar el móvil P al punto de partida $P_0$. Mas debe advertirse que la figura empleada para la demostración ha sido construida, en cierto modo, arbitrariamente; toda vez que no representa sino un caso que no es el único posible. Pueden, en efecto, construirse otras figuras semejantes, dando á las diagonales de los paralelógramos diferentes dimesiones, demostrando así que el móvil puede alejarse ó aproximarse á S. Ahora la cuestión consiste en averiguar cual de los tres caminos seguirá el móvil en el supuesto de la teoría neutoniana, esto es, si se encuentra solicitado por una fuerza instantánea y otra constante. La razón y el simple buen sentido dicen que el móvil, en el caso referido, no puede conservarse siempre á la misma distancia ni menos alejarse constantemente del centro de atracción. Si desde el principio, como se supone, la fuerza atractiva empezó á ejercer su influencia sobre el cuerpo P, y como resultado del primer impulso, ó más propiamente, como resultado de la fuerza en el primer momento, se verifica un cambio en la dirección y el móvil en vez de seguir la linea $P_0$ P' se aproxima á S, lo mismo tendrá que suceder en los momentos siguientes; el móvil se aproximará constantemente al centro de atracción; es el fenómeno que se observa en la caída de los cuerpos. Alejarse ó permanecer á una distancia siempre igual, sería

sustraerse á la acción de la gravedad, en otros términos, sería como si aquella fuerza dejara de existir. Se entablaría, por decirlo así, una lucha entre las dos fuerzas que se consideran y que tienden á llevar el móvil por diferentes caminos; si en el primer momento que se considera, la victoria parece indecisa esto se debe á que ambas fuerzas equivalen á impulsos momentáneos; pero á medida que el tiempo transcurre la gravedad, fuerza constante, multiplica su poder y necesariamente el móvil se aproximaría más y más hasta caer en el centro que lo solicita. Por otra parte, no es exacto que la gravedad obre con impulsos sucesivos, esto es, que aparezca y desaparezca á cada momento. No sucede así, el móvil no se sustraé á la acción de la referida fuerza ni un solo momento, no es posible, por consiguiente, que se aleje ni siquiera que permanezca indefinidamente á la misma distancia del lugar en que se manifiesta la atracción.

En las obras destinadas especialmente á la popularización de la ciencia, se quiere algunas veces explicar cómo la atracción central es compatible con la revolución en órbitas circulares, por medio del argumento del proyectil. En el fondo de este argumento es el mismo que se ha analizado, si bien revestido de una forma distinta. He aquí dicho argumento:

«El imaginario esquema de la figura 2 representa un corte de la tierra con una alta montaña en su parte superior: si se colocara un cañón en la cima de aquella, en C, y se disparase la bala en la dirección C E con una escasa carga de pólvora, el proyectil se movería á lo largo del primer paso curvo C a'; si se disparara por segunda vez con mayor carga, el paso se efectuaría por la segunda linea y la bala caería de nuevo; pero si empleamos una cantidad de pólvora más considerable aún, sirviéndonos de un cañón de mayor calibre que el de las piezas construidas hasta aquí, otro será el resultado. La velocidad del proyectil debe ser ahora de algunas millas



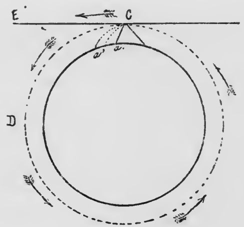



Figura 2.

por segundo, pero debemos suponerla ajustada de tal modo que el proyectil se mueva á lo largo del paso C D, siempre á la misma altura sobre la superficie, aunque circonvolucionando todavía, como debe hacerlo todo proyectil, desde la línea horizontal en que se movió en el primer momento. Llegada á D, la bala debe estar aún á la misma altura sobre la superficie, y como su velocidad no ha disminuido, partirá al punto de nuevo, moviéndose alrededor de otro arco de círculo sin acercarse más á la superficie. De este modo la bala viajará alrededor de todo el globo, volviéndose otra vez á C y partiendo de nuevo por el mismo paso.

«Haciendo ahora un esfuerzo mental, imaginemos un enorme cañón que pudiera disparar una bala de 2,000 millas de diámetro, y supongamos también que el proyectil, cuya velocidad debe ser de 3,000 pies por segundo, ó sea dos ó tres veces mayor que la de cualquiera de nuestras piezas modernas, se dispara horizontalmente desde un punto que se halle casi á 250,000 millas sobre la superficie de la Tierra. Al rededor de esta última la estupenda bala progresaría en una órbita casi circular, volviendo al punto de

partida en unas cuatro semanas. Después comenzaría una nueva revolución, y, transcurrido un segundo periodo igual, volvería á encontrarse en el sitio en que se disparó, repitiéndose este movimiento siglos y siglos.» (La Historia de los Cielos por Roberto Stawell Ball. Traducción de Enrique Leopoldo de Verneuil, pág. 83.)

Ya se ha indicado que esa argumentación en buena lógica es inaceptable: si la fuerza de la pólvora aumenta, la trayectoria será mayor y tardará más tiempo el cuerpo en caer; pero mientras solo entren en juego las dos fuerzas mensionadas, esto es, la fuerza de la pólvora y la gravedad, el móvil caerá indefectiblemente. ¿Por qué se supone que puede llegar un momento en que dichas fuerzas, en cierta manera, se equilibren y que el móvil se conserve á la misma distancia de la Tierra? Si fueran de la misma naturaleza las dos fuerzas y constantes ambas podría suceder. Pero si una de esas fuerzas ha desaparecido ¿cómo puede hacer equilibrio á la otra que continúa ejerciendo su acción? Si ambas fuerzas pueden considerarse, en un momento determinado, como iguales, esa igualdad desaparecería en el momento siguiente; porque la gravedad es una fuerza perpetua, esto es, que renace sin cesar. ¿Cómo se explica que si sigue actuando esa fuerza sobre el móvil no consiga ya cambiar su trayectoria? La idea de fuerza y la idea de cambio en el movimiento no pueden separarse. Si constantemente aparece una fuerza, constantemente cambiará la trayectoria del móvil y nunca, en el ejemplo que se analiza, volvería la bala ó planeta al punto de partida.



## CAPITULO III.

**El movimiento de los planetas no es, en manera alguna, comparable con el movimiento de un cuerpo que caé. - Efectos de una fuerza constante.**

Admitiendo por un momento, la existencia de la fuerza inicial, que según la teoría neutoniana, sigue influyendo todavía en el movimiento de los cuerpos celestes, debe convenirse en que á lo sumo dicha fuerza tendría por efecto producir un cambio en el movimiento que de rectilíneo pasaría á hacer curvilíneo, mas como la fuerza inicial no sería contraria á la gravedad no destruiría enteramente sus efectos. Ahora bien, estando los planetas solicitados por una fuerza constante, como es la gravedad, de acuerdo con un principio elemental de mecánica, deberían adquirir un movimiento uniformemente acelerado, como el de una piedra que cae. La experiencia enseña que no sucede así. Basta para convencerse de ello establecer una comparación entre el movimiento de los planetas y el movimiento que adquieren los cuerpos que caen.

Las leyes de la caída de los cuerpos son tres y se formulan así:

Ley primera. Todos los cuerpos caen al mismo tiempo en el vacío, cualesquiera que sean su masa y su naturaleza.

Si un cuerpo está compuesto de moléculas de la misma naturaleza, la fuerza de la gravedad obra con la misma intensidad sobre cada una de ellas, imprimiéndoles igual velocidad. De suerte que sus moléculas caen cuando están unidas entre sí formando el cuerpo, como si estuviesen separadas ó como una sola. Si las moléculas del cuerpo no son homogéneas se demuestra igualmente que todas caen con la misma velocidad. Al efecto, se emplea un tubo de vidrio, cerrado por una extremidad y provisto en la otra de una llave. Se introducen en este tubo cuerpos de diferente naturaleza y den-

sidad, corcho, papel, plomo, médula de sauco, etc., y se le extrae el aire por medio de la máquina neumática. Si entonces se invierte el tubo, se ve que todos los cuerpos caen al mismo tiempo ó con igual velocidad. Introduciendo un poco de aire en el tubo, se nota al invertirlo de nuevo un retraso en la caída de lo cuerpos más ligeros, retraso que se hace muy aparente cuando ha entrado todo el aire en el tubo, pues este fenómeno depende de la resistencia de dicho fluido.

La ley en cuestión se demuestra también por un experimento muy sencillo. Se toma un disco metálico, una moneda por ejemplo, y se coloca sobre él un disco de papel del mismo diámetro, ú otra sustancia ligera. Dejando caer todo se observa que los cuerpos llegan al mismo tiempo al suelo, porque la resistencia del aire no se ejerce sobre el disco de papel ó la substancia ligera puesta sobre la moneda, como sucedería si cayesen separadamente, en cuyo caso caería primero la moneda y después el papel ó substancia ligera.

Ley segunda. Los espacios recorridos por un cuerpo que cae en el vacío, son proporcionales á los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos.

Para explicar esta ley se supone que un cuerpo desciende según la vertical A B (fig. 3), y que en el primer segundo de su caída recorra el espacio A b; en dos segundos, partiendo del mismo punto A, recorrerá tantos espacios iguales á A b, como el cuadrado de dos, es decir cuatro A b = A c; en tres segundos recorrerá tantos espacios iguales á A b, como el cuadrado de 3, esto es 9 A b = A d; y así sucesivamente.

De esta ley se deduce: que los espacios recorridos en las unidades de tiempo sucesivos, son entre sí como la serie natural de los números impares. En efecto: se observa que en dos unidades de tiempo el cuerpo recorre 4 A b, pero como en

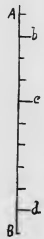


Figura 3.



la primer unidad recorre A b en la segunda unidad habrá recorrido cuatro 4 A b – A b.=3 A b; en tres unidades de tiempo recorre nueve A b, pero como en los dos primeros recorre 4 A b, en el tercero habrá recorrido 9 A b, menos 4 A b, igual a 5 A b; sucesivamente los espacios serán 16 A b, menos 9 A b, igual á 7 A b, 25 A b, menos 16 A b, igual a 9 A b, etc. Se ve, pues, que los espacios recorridos en cada unidad de tiempo sucesiva son como los números 1, 3, 5, 7, 9, etc.

Ley tercera. La velocidad adquirida por un cuerpo que cae es proporcional al tiempo empleado en caer.

Es decir, que después de 2, 3, 4, etc., segundos de caída, la velocidad ó el espacio recorrido por el cuerpo en un segundo, es doble, triple, cuádruple.

Estas leyes se comprueban por la observación y por medio de aparatos, como son el plano inclinado de Galileo y la máquina de Atwood. Así se prueba que la pensantez es una fuerza aceleratriz constante y que se ejerce sobre todo cuerpo de cualquiera forma ó naturaleza que sea.

Por el contrario los planetas se mueven en curvas cerradas, sensiblemente circulares alrededor de un punto que es el lugar ocupado por el Sol. El tiempo de la revolución es constante. La Tierra, por ejemplo, verifica su movimiento de traslación alrededor del Sol en un año, y este tiempo es de tal manera invariable, que se toma como unidad de medida para los usos comunes y para la historia. La velocidad de los cuerpos del sistema solar varía acelerándose ó retardándose según una ley definida é inmutable. Es claro, por consiguiente, que los planetas no caen sobre el Sol, y aun más, como sus órbitas son realmente elípticas y no circulares, unas veces los planetas se aproximan al Sol y otras se alejan de él, también de acuerdo con una ley constante. De todo lo expuesto se deduce que no se encuentra ninguna semejanza entre la caída de un cuerpo y el movimiento de

los planetas. ¿Será posible admitir que el primero de los referidos fenómenos se modifique totalmente por la concurrencia solamente de una fuerza instántanea? ¿podrá acaso influir esa fuerza de tal manera que sus efectos sean eternos no obstante la gravedad que se le opone?

Sin duda no se ha reflexionado suficientemente en lo que es una fuerza constante como la gravedad.

La idea precisa de lo que es una fuerza de esa clase se adquiere estudiando sus efectos. Para esto debe analizarse lo que en Matemáticas se llama potencia de los números. En el vocabulario de la Aritmética, hay pocas palabras más expresivas que estas: *potencia de los números*. Se llama así el resultado obtenido cuando se multiplica un número varias veces por sí mismo. Así 9 es la segunda potencia de 3,27 la tercera, 81 la cuarta, y 245 la quinta. El rápido crecimiento de esas cantidades conduce á resultados que, sin dejar de ser perfectamente rigurosos, no parecen por eso menos sorprendentes. Se refiere que el inventor del ajedrez, un Brahmin, á quien su rey había ofrecido dar en premio del invento lo que pidiera, pidió como única recompensa un grano de trigo por la primera casilla del tablero, 2 por la segunda, 4 por la tercera y así por las demás doblando siempre la cantidad hasta la última casilla del tablero, que tiene sesenta y cuatro casillas. El cálculo demuestra que el inventor referido hubiera agotado por mucho tiempo las cosechas del globo entero; porque se necesitaría una extensión de terreno igual a ocho veces la superficie de la Tierra suponiéndola enteramente sembrada de trigo para producir en un año, con que satisfacer los deseos del ingenioso Brahmin.

Se cita también como ejemplo el caso de un mercader que estando muy interesado en la compra de un hermoso caballo; se le propuso que diera solamente por él el precio de los veinticuatro clavos de las herraduras del caballo, suponiendo que el primer clavo valía un céntimo, el segundo



dos, el tercero cuatro, y así los demás doblando siempre. Se encuentra que el precio del caballo, en estas condiciones, ascendería á la exorbitante suma de 83,886 francos 8 céntimos.

Es facil concebir, por lo que se ha dicho, que si causas incesantes de destrucción no se opusiesen á la multiplicación de ciertas especies de animales y de plantas, el globo estaría invadido en muy pocos años, y no bastaría ya para contenerlos. Suponiendo que de la prodigiosa cantidad de huevos que produce un arenque hembra, 2,000 al menos dieran nacimiento á otros tantos peces la mitad machos y la otra mitad hembras, nacerían de éstos en el segundo año 2 millones, en el tercer año serían 2 mil millones, y en el año octavo el número de nacimientos se expresaría con un 2 seguido de 24 ceros. Ahora bien el volumen de la Tierra contiene aproximadamente ése mismo número de pulgadas cúbicas; por consiguiente, auque todo el globo se trasformase en oceano, no sería suficiente para contener tan gran cantidad de peces.

La experiencia demuestra que un tallo de beleño da algunas veces mas de 50,000 granos. Considerando que sean, por término medio solamente 10,000, á la cuarta generación el número de tallos se expresaría con un 1 seguido de 16 ceros. Suponiendo que un metro cuadrado pudiese contener 20 tallos, la superficie entera del globo apenas bastaría para contener todas las plantas producidas al fin del cuarto año por un solo pie de beleño. He aquí lo que se denomina la potencia de los números y he aquí también, varios ejemplos que sírven para hacer comprender cuales son los efectos de una fuerza constante.

Ahora bien, se llama fuerza todo lo que cambia el estado de reposo ó de movimiento de los cuerpos. La ley de la inercia se enuncia diciendo que cuando ninguna acción exterior se ejerce sobre un cuerpo, si el cuerpo está en reposo, permanece en reposo; si está en movimiento, continúa su movimiento rectilíneo y uniforme. Según este principio el esta-

do natural de la materia es el reposo ó el movimiento rectilíneo y uniforme. Así la acción de las fuerzas sobre los cuerpos se manifiesta de dos maneras: ó bien modifica la velocidad, aumentándola si solicita el cuerpo en el mismo sentido que aquella, disminuyéndola si lo solicita en sentido contrario; ó bien cambiando á cada instante la dirección del movimiento.

Se deduce de estos principios que la pesantez siendo una fuerza constante debe acelerar constantemente la velocidad del móvil y cambiar su direccion atrayéndolo. Es así que los astros se mueven eternamente en las mismas órbitas, sin aceleración, luego ó la gravedad no ejerce su influencia sobre los planetas es decir no es fuerza; ó debe buscarse otra teoría para explicar el sistema del Mundo. Una fuerza constante y otra instantánea jamás llegarían á producir el movimiento armónico que se observa en los astros.

## CAPITULO IV.

### La teoría de Newton no explica el movimiento en elipse de los cuerpos celestes.

Si la teoría de la gravitación universal es insuficiente para dar cuenta del movimiento circular, menos puede descubrir la causa de que las órbitas de los cuerpos celestes sean elípticas. No obstante se han ideado algunas demostraciones para explicar el hecho referido, pues, el espíritu humano parece de tal manera ávido de comprenderlo todo, que se ve inclinado á admitir, algunas veces, teorías notoriamente falsas y aún contradictorias, conformándose con ellas, siquiera sea á título de hipótesis, con tal de tener alguna explicación ó mientras se descubre la explicación verdadera.



He aquí una demostración de los movimientos en elipse, conforme al sistema neutoniano, que hace un distinguido autor:

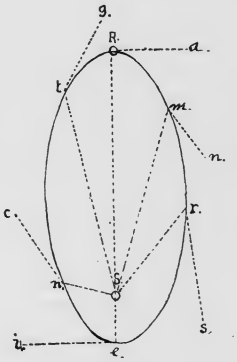



Figura 4

"TEODORO.—Describamos con la pluma la elipse de un cometa, y lo que dijéremos de ella deberá entenderse de todas las elipses de los cometas y planetas. Supongamos (fig. 4) al Sol en el foco interior del elipse, y el cometa *R* en el punto más alto de ella. Si cuando Dios impelió á este cometa por la tangente *R a* llevase fuerza centrífuga igual á la gravedad hacia el Sol; describiría una línea circular, cuyo centro fuese el Sol; pero si esa fuerza centrífuga fuese menor describiría una curva más curva que la circular, y había de obedecer más á la atracción ó gravedad. Supongamos, pues, que así

fué, y que por eso vino el cometa por la curva *R m*: si ahí no hubiese atracción del Sol siempre se escaparía por la tangente *m n*; pero como el Sol en ese lugar *m* lo tira hacia sí, tiene que obedecer de algún modo á esta atracción, desviarse de la tangente, inclinando la línea hacia el Sol. Advierto de paso que aquí la atracción del Sol hace dos efectos, uno es doblar la línea del movimiento, é impedir que el cometa siga la tangente *m n*, otro es aumentar la velocidad del cometa, porque el quiere venir por la línea *m n* que baja, y la atracción también le impele hacia abajo; y de este modo el cometa se viene acelerando al modo de una campana al vuelo, ó un péndulo que viene cayendo. Advierto más; que desde *R* hasta *e* todo concurre para que el cometa se acerque al Sol, porque aun que le dejasen libre, y el se moviese por las tangentes, como el Sol no está perpendicular á las tangentes (que esto solo acontece en los círculos), siempre el cometa se aproximaría al Sol, como se conoce en la misma figura. Por lo cual en esta bajada del cometa ó atracción no es encontraría la línea del ímpetu, antes concuerda en parte con ella, y así acelera el movimiento y encorva la línea; y poniendo el cometa cada vez á menor distancia es causa de que vaya aumentándose la atracción. Así va siempre triunfando la fuerza de la atracción, hasta que el cometa llega al punto *e*, que es el perihelio ó la mayor proximidad. Ahora muchos no perciben como el cometa de aquí adelante se puede ir desviando, sin embargo de ser aquí mayor la fuerza de la atracción que en todas las demás partes; pero no advierten que en este punto ya la línea *s e* de la atracción no concuerda con la línea del ímpetu con que el cometa quiere ir por la tangente *e i*, antes desde este punto en adelante comienza la línea del ímpetu, que es la tangente, á ser contraria á la línea de la atracción, y á obrar contra ella, y por consiguiente á disminuirla. Tampoco advierten que aquí la fuerza centrífuga es mayor que en todos los demás parajes:



lo primero por ser suma la velocidad, y crecer ella conforme el cuadrado de la velocidad, y en segundo lugar porque aquí la vuelta de la línea es mucho mas apretada, y la línea es sumamente curva, lo cual, como está probado aumenta la fuerza centrífuga. Siendo, pues, aquí por dos principios muy grande la fuerza centrífuga, y comenzando á obrar contra la fuerza de la atracción, va esta quedando vencida, y el cometa desviándose del Sol de aquí adelante. Ahora bien, obrando siempre la atracción contra las líneas del ímpetu ó tangentes, es claro que el cometa se ha de ir retardando en su curso; mas siempre, aunque despacio, va huyendo, y aumentándose su distancia, con lo cual se desminuye la fuerza de la atracción, y por eso siempre la fuerza centrífuga va venciendo, y el cometa apartándose del Sol, hasta que llegando á *t*, yendo ya el cometa muy lento, y teniendo la línea de la atracción mayor inclinación sobre la tangente *t g*, empieza á torcerla mas, y la tuerce tanto, que el cometa viene á dar á *R*, donde se acaba la órbita, y queda otra vez la línea de la atracción en ángulo recto con la tangente *R a*, que es la postura mas propia para que la acción de la gravedad se emplee toda en arquear la línea sin ayudar al movimiento ni embarazarlo. Decidme: ¿habeis entendido bien esto?''

«EUGENIO.—Creo que sí: la comparación de la campana ó del péndulo de que habeis usado me ha dado bastante luz, porque así como el péndulo siempre se acelera al bajar, y se retarda al subir, y cuando llega á pasar por debajo, entonces es cuando lleva la mayor fuerza, así creo que sucede al cometa; al caer hacia el Sol se acelera: al pasar por debajo va con muchísima velocidad, y al volver otra vez arriba se va retardando.

«TEOD.—Si reflexionais bien hallareis una semejanza muy grande en el péndulo al caer. La atracción de la Tierra ó gravedad obra por líneas, que en parte concuerdan con la del ímpetu del péndulo que desciende, porque aunque él no

se moviese circularmente sino por las tangentes, siempre se acercaría á la Tierra; y esto es lo que la atracción intenta: lo mismo sucede al cometa al caer hacia el Sol por la mayor elipse. Por el contrario, al volver arriba las líneas del ímpetu en el péndulo todas son contrarias á la acción de la gravedad, y así la vencen, haciendo que el péndulo suba; pero la gravedad se desquita de eso, debilitándole poco á poco las fuerzas del ímpetu hasta extinguirlas del todo; y lo mismo acontece al cometa cuando sube, porque las líneas del movimiento todas son contrarias á la atracción del Sol, y se van burlando de ella, haciendo que el cometa cada vez se aparte más del Sol; pero les cuesta cara esa victoria que alcanzan de la atracción del Sol, porque esta siempre va retardando el ímpetu del cometa hasta apagarlo, y no dejarlo subir más, y entonces empieza á obligarle á dar vuelta y bajar otra vez hacia el Sol.» (Recreación Filosófica, Almeida, Tomo IV, página 292.)

Las vacilaciones que el sabio Almeida supone deben existir en muchas personas para aceptar su explicación sobre el movimiento en elipse, no son sino las dudas que la referida demostración hace nacer en su propio espíritu. En efecto, parece imposible que aparte del dócil discípulo, que el autor forja para que le sirva de interlocutor en el diálogo, haya quien acepte ó entienda siquiera, tan extraña é infundada teoría.

La demostración que se analiza contiene sin duda inexactitudes manifiestas; así, se supone que la figura tiene *alto* y *bajo*, que el móvil que se considera *sube* y *baja*. Dichas ideas, sin embargo, saliendo de la Tierra no tienen ninguna significación.

Con relación á la superficie misma del globo no expresan esas voces sino una relación accidental: lo que en un momento determinado ciertos habitantes de la Tierra llaman alto, para los antípodas es bajo y vice-versa y en virtud del



movimiento giratorio del planeta transcurridas doce horas, que emplea la Tierra en girar media vuelta sobre sí misma, resulta invertido lo que se llama alto y bajo. En el Universo no hay *arriba* ni *abajo*; existen solamente cuerpos que parecen sostenidos libremente en el espacio.

El estudio de las oscilaciones del péndulo, que se propone como la demostración material de la teoría expuesta, no da ninguna luz sobre la cuestión. En efecto, en el péndulo, la gravedad obra primero en un sentido y luego en otro por efecto de la posición misma en que se va colocando. Así, si se lleva un péndulo á la posición AM' (Fig. 5) y se le abandona luego á sí mismo, no puede conservar esa posición. El peso del cuerpo, que es una fuerza vertical, puede descomponerse en dos fuerzas: una Q, dirigida según la prolongación del hilo, que no tiene otro efecto que tenderlo; otra R, perpendicular á esta dirección, es decir tangente al arco de círculo M' M, y que solicita el péndulo á volver hacia el punto M. Como sucede lo mismo mientras el cuerpo está á la izquierda de M, aquel recorre, con una velocidad creciente, el arco de círculo M' M. Llegando á M, pasa la posición de equilibrio,

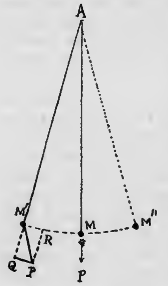



Figura 5.

en virtud de la velocidad adquirida; mas la componente tangencial del peso, obrando ahora en sentido contrario del movimiento, disminuye poco á poco la velocidad, y acaba por anularse. Desde este momento, el péndulo, llegando á A M'', termina una oscilación. La pesantez sigue obrando siempre sobre el cuerpo, este vuelve á descender el arco M'' M, sube al otro lado del punto M hasta que su velocidad vie-

ne á ser nula, y el péndulo verifica así una serie de oscilaciones, alternativamente en un sentido y en otro. Nada de esto se observa en los movimientos de los cuerpos planetarios: la atracción solar, que hace en el caso las veces de pesantez, no obra primero en un sentido y luego en otro, ni los planetas están suspendidos, como el péndulo, por la cuerda que impide el movimiento libre.

Véase ahora la explicación que del mismo hecho que se estudia, esto es, del movimiento en elipse, hace un autor francés.

«Pero como, dice, la fuerza de la atracción si solamente existiera no propendería mas que á reunir en una sola masa todos los globos de la naturaleza. Newton supuso que los cuerpos celestes habían recibido primitivamente un impulso en línea recta, y que de la combinación de estas dos fuerzas depende el movimiento curvilíneo.

Efectivamente, si el cuerpo A se halla empujado según la línea recta A B X (Fig. 6), en el espacio libre en que no encuentre ninguna resistencia que atenue el impulso que ha recibido, continuará moviéndose indefinidamente con la misma velocidad y en la misma dirección. Pero si al llegar á B es atraído por S con una fuerza conveniente y perpendicular á su movimiento, se apartará de la línea recta A B X y describirá el círculo B Y T U en derredor de S. Para que el cuerpo describa así un círculo, es menester que la fuerza proyectiva sea igual á la que hubiese adquirido por el solo efecto de la gravedad, cayendo según la dirección de semi–radio del círculo. Así, para que el cuerpo describa el círculo B Y T U al llegar á B, es menester que sea atraído por S, de modo que caiga de B en Y, mitad del radio B S, en el mismo tiempo que tarde de ir desde B á X, por el solo efecto de la fuerza de proyección. A será un planeta, si se quiere, y S el Sol.

Pero si mientras la fuerza proyectiva impele al planeta de B á b, le hiciere bajar de *B* á *I*, la atracción del Sol, el



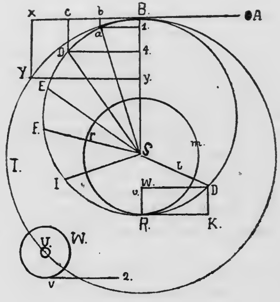



Figura 6

poder de la gravitación será mayor proporcionalmente que en el primer caso, y el planeta describiría la curva *B a*. Cuando haya llegado á a, la gravitación que aumenta en razón inversa del cuadrado de las distancias, será todavía más poderosa que en B, y hará que el planeta descendiese mas en términos de obligarle á describir los arcos B a, a D, D E, E F, en iguales tiempos: el planeta se moverá pues, con mucha más rapidez que anteriormente, y mayor será su propensión á escurrirse por la tangente K k, ó, en otros términos, adquirirá mayor fuerza proyectiva, la cual sería bastante poderosa para vencer la fuerza de atracción é impedir que el planeta caiga hacia el Sol, y aun de moverse en el círculo K, l, m, n, e. El planeta pues se alejará según la curva K, l, m, n, pero su velocidad menguaría por grados desde K á B, como había aumentado de B á K, porque ahora se ejercerá la acción solar en el sentido contrario. Vuelto á B, y después de haber perdido

desde K á allí el exceso de velocidad que adquirido había de B á K, obedecerá á las mismas fuerzas y describirá la propia curva.

Una fuerza proyectiva dupla contrebalancea una fuerza atractiva cuádrupla. Supongamos, en efecto, que el planeta reciba en B un impulso hacia X dos veces mayor que el que tenía en un principio, ó, lo que es lo mismo, que se traslade de B á e en el mismo, que se trasladaría de B á b. En este caso, será menester una fuerza de gravedad cuatro veces mayor para contenerle en su órbita, es decir una fuerza capaz de hacerlo caer de B á 4 en el mismo tiempo que una fuerza proyectiva hubiese tardado en llevarle de B á e: de otra manera no podría describir la curva B D como lo demuestra la figura.

Como los planetas se acercan y alejan del Sol en cada una de sus revoluciones, pueden encontrarse algunas dificultades en concebir como en el primer caso no se le acercan más y más hasta confundirse con él, y como no se alejan en el segundo para no volver jamás; pero esta dificultad desaparece luego que se estudian la acción y respectiva intensidad de las fuerzas en los casos de que se trata. Hemos dicho que el planeta, movido por una fuerza proyectiva que le trasladase de B á b, en el tiempo que el Sol le hiciera caer de B á 1, describe la curva B C sometido á la acción de entrambas fuerzas. Pero ¿cómo obrarán éstas cuando se halle en K el planeta? Siendo K S igual á la mitad de B S, el planeta estará dos veces más cerca del Sol, y la acción de la gravedad será, pues, cuatro veces mayor en virtud del principio anteriormente sentado. Esta propenderá, de consiguiente, á hacer que el planeta caiga de K á V en el mismo tiempo que propendería á hacerle caer de B á 1, por ser K V cuatro veces mayor que B L. Pero la fuerza proyectiva trabaja por trasladar al planeta en el mismo tiempo de K á k, espacio doble de B b, como lo manifiesta la figura, luego esta fuerza pro-



yectiva es doble de lo que era en B. Y como hemos visto que una fuerza proyectiva dupla contrabalancea siempre una fuerza atractiva cuádrupla, tendremos que no se romperá el equilibrio entre las dos fuerzas, y el planeta continuará su camino desde K á L según la resultante de ambas. Cuando haya vuelto á B, se encontrará nuevamente sometido á la acción de las dos fuerzas que le hicieron recorrer su órbita por primera vez, y como estas obrarán con la misma intensidad que anteriormente, describirá indefinidamente la misma curva.» [Lecciones de Astronomía, por F. Arago, página 147.]

Ya se ha visto que la fuerza de impulsión que se supone y la gravedad, no pueden ser iguales ya que una fuerza instantánea es capaz de producir, en un momento determinado, un efecto igual ó mayor que el de una fuerza constante, pero en los momentos siguientes la igualdad desaparecería esto es, la fuerza constante iría dominando á la fuerza instantánea. También es facil convencerse de que esas fuerzas aun suponiéndolas iguales, no se contrabalancearían, porque no son opuestas ó contrarias, pues no tienden á llevar el móvil por caminos diametralmente opuestos. La prueba evidente de que las fuerzas que actuan sobre los cuerpos planetarios, propiamente no se equilibran es que esos cuerpos se mueven. En efecto, se llama equilibrio el estado de un cuerpo que estando solicitado por varias fuerzas permanece no obstante en reposo.

El hecho á que se refiere la explicación de Arago es bien sencillo, es el fenómeno de la caída de los cuerpos, la experiencia diaria lo demuestra. Supóngase que se arroja una piedra hacia arriba, y que la fuerza impulsiva es doble, triple ó cuadruple que la gravedad ó peso de la piedra ¿acaso el móvil no caé ya en la superficie del globo terrestre sino que sigue moviéndose indefinidamente en curvas cerradas como los planetas? Evidentemente no sucede así; el fenómeno

se verifica de muy distinta manera. Primero la piedra sube contrarrestando la gravedad, pero con un movimiento retardado; transcurridos algunos momentos y destruida la fuerza de impulsión la piedra caé, esta vez con un movimiento uniformemente acelerado. ¿Por qué siendo el mismo fenómeno el del movimiento de los planetas que el de la piedra no caen aquellos hacia el Sol, ni su movimiento se acelera, ni siquiera tienden á aproximarse al cuerpo central? ¿Cómo podría explicar la teoría neutoniana que los planetas periódicamente aceleren y retarden en seguida su movimimiento y que se aproximen unas veces y otras se alejen del Sol?

La demostración de Arago lo mismo que la de Almeida no es sino una demostración convencional.



## CAPITULO V.

**Se compara la acción del Sol sobre los planetas á la resistencia de la cuerda en la honda; la comparación no es exacta. - Un mundo fabricado según la teoría de la gravitación universal sería imperfecto. - Newton reconoce la imperfección de su sistema.**

Ya en un pasaje de Simplicio se opone muy claramente la fuerza centrípeta á la fuerza centrífuga. Se hace allí mención del equilibrio de los cuerpos celestes, en tanto que la fuerza centrífuga contrabalancea la pesantez que atraé los cuerpos hacia las regiones inferiores.

Plutarco compara la Luna suspendida sobre la Tierra á una piedra en la honda. Esta misma comparación ha sido adoptada por los sostenedores de la teoría neutoniana y hasta se ha llegado á inventar á este respecto, una demostración también gráfica, razonada de la siguiente manera:

«Para comprender mejor, se dice, la naturaleza de la fuerza centrífuga, supongamos el caso de la honda, es decir, de un cuerpo *a* (Fig. 7,) pendiente de un hilo inextensible *a c*, y que en virtud de un impulso tangencial *a d*, que se le imprime, describe la circunferencia a a' a'' cuyo centro es *c*. En este caso la resistencia del hilo, que es como si dijéramos la fuerza centrípeta, combinada con la fuerza tangencial, produce el movimiento circular; pero hay que ad-

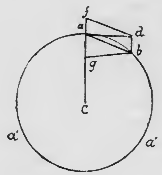



Figura 7.

vertir que en el hilo se desarrolla una fuerza de tensión que puede llegar á romper el hilo y que obra por consiguiente en dirección diametralmente opuesta á la resistencia del hilo, esto es, á la fuerza que mantiene el móvil en la circunferencia. El valor de esta tensión se puede encontrar de esta manera, descomponiendo la fuerza tangencial *a d* en las componentes *a b* y *a f*; la primera según la dirección de la cuerda *a b* que podemos suponer infinitamente pequeña, y la segunda es la prolongación del hilo *c a*. La primera es la que realmente produce el movimiento circular, y la segunda es la que se llama fuerza centrífuga. Esta se manifiesta por la tensión desarrollada en el hilo; la centrípeta representa el grado de resistencia que de hecho el hilo opone á la tensión; ambas siempre iguales. En todo móvil cuya trayectoria es una curva, tiene que desarrollarse la fuerza centrífuga. Si el cuerpo se mueve libremente en el espacio, sujeto á una fuerza central, como son los planetas, la fuerza centrífuga es igual y directamente opuesta á la fuerza centrípeta ó sea la gravitación.» [Tratado de Cosmografía, Anguiano, página 224.]

En el caso de la honda que se propone como ejemplo no es verdad que el movimiento resulte de un impulso tangencial, ni que esta fuerza se descomponga en otras dos; la tendencia del móvil á escaparse por la tangente es más bien el resultado y no la causa del movimiento circular. Analizando detenidamente la comparación propuesta, es facil convencerse de que para que la piedra colocada en la honda describa un movimiento circular, se requieren dos fuerzas que actúen á la vez. Esas fuerzas son, por una parte, la fuerza de la mano, que describiendo por sí misma un círculo, imprime á la piedra un movimiento circular y por otra parte la resistencia de la cuerda, que aunque no atraé á la piedra sí impide que se escape y por esta razón tiene semejanza con una fuerza centrípeta ó atractiva. Debe asimismo advertirse que las



dos fuerzas mencionadas subsisten mientras dura el movimiento circular. Si por un momento una sola de las fuerzas que se consideran desaparece, ya sea que falte el efecto de la cuerda ó bien el esfuerzo muscular de la mano, inmediatamente el movimiento circular de la piedra deja de efectuarse.

Haciendo aplicación de los razonamientos expuestos al movimiento de los planetas resulta que, la resistencia de la cuerda representa la atracción y la fuerza de la mano representa la fuerza inicial. Ahora bien, para que se produjera el movimiento circular de los planetas alrededor del Sol de una manera indefinida, sería menester que las dos fuerzas referidas fuesen constantes.

La declaración que hace el autor citado tiene gran importancia porque es la refutación de la teoría de Newton y un argumento en favor de la nueva doctrina. Si «todo móvil cuya trayectoria es una curva está sujeto á dos fuerzas iguales y directamente opuestas una á otra» y si se sabe, por otra parte, que una de las fuerzas que obran sobre los astros es la atracción, el problema consiste en averiguar qué fuerza hay igual á la atracción, es decir constante, y que á la vez sea directamente opuesta á la misma. Dicha fuerza no puede ser otra que la repulsión.

De lo expuesto se deduce que un mundo sujeto á las leyes mecánicas de la teoría de la gravitación universal sería imperfecto y suponiendo que pudiera subsistir algún tiempo, estaría fatalmente condenado á perecer. Lo cual no puede aceptarse porque en la obra del Cosmos se descubre una perfección admirable.

Copérnico adoptó el sistema que lleva su nombre porque revela la armonía. «En ninguna otra combinación, dice, he podido encontrar una simetría tan admirable en las diversas partes del gran todo, unión tan armoniosa entre los movimientos de los cuerpos celestes, como colocando la antorcha del Mundo, ó ese Sol que gobierna á toda la familia de

los astros en sus evoluciones circulares, sobre un trono real, en medio del templo de la naturaleza.»

A la mirada de águila de Newton no se ocultabá la imperfección de su teoría. Tratando de resolver el problema cosmogónico por medio de su ley, comprendió desde luego que la atracción sola no podría producir nunca sino una sola masa por la aglomeración de todas las moléculas, y que, por consiguiente, no explicaría los movimientos de los planetas alrededor del Sol ni las rotaciones de esos astros sobre sí mismos, y Newton atribuyó la armonía del sistema solar á la unidad de plan del Creador, que según él, había comunicado á cada planeta el impulso conveniente, y aun intervendría de vez en cuando para asegurar la estabilidad del sistema.

## CAPITULO VI.

**La atracción no es una fuerza universal; tiene su antítesis en la repulsión. - Dos fuerzas iguales y contrarias explican el Mundo.**

La atracción no es una fuerza universal, esto es, no se manifiesta siempre y en toda ocasión; existe en la naturaleza otra energía, que es igual y contraria á la atracción: la repulsión.

Ya se ha visto que el movimiento mismo de los astros y la génesis del Universo no se explican con el concurso de una fuerza única. Entre los fenómenos que se conocen hay unos cuya importancia y alcance no se puede poner en duda; tales son los fenómenos magnéticos y eléctricos, caracterizados por la manifestación de las dos fuerzas atractiva y repulsiva. Mas adelante habrá oportunidad de extenderse en el



estudio del magnetismo ó electricidad, dejando por ahora apuntada solamente la anterior observación.

Las fuerzas moleculares, que constituyen las energías más oscuras ó menos estudiadas, se revelan también por la presencia de las dos fuerzas atractiva y repulsiva.

Por ejemplo cuando se introduce un poco de éter en el vacío barométrico se ve que la parte superior de la columna desciende con rapidez y toma una posición fija. Débese este efecto á que el líquido, al llegar al espacio vacío que coronaba el mercurio, se ha reducido á gas que rechaza el mercurio. Si después se enfría por un medio cualquiera el tubo barométrico, se ve levantarse gradualmente la parte más alta de la columna de mercurio, rechazando el gas á su vez; y cuando el volúmen de este gas ha disminuido suficientemente, se distingue una pequeña capa de líquido que corre por las paredes del vidrio y se une en lo alto del mercurio.

Vuelve, pues, la substancia del gas á su primitivo estado de líquido. Evidentemente las meléculas del gas se aproximan unas á otras durante el enfriamiento, dando motivo para creer que obedecen á cierta ley de atracción mutua. Recíprocamente cuando el éter pasa del estado líquido al gaseoso es sin duda porque sus moléculas se separan en virtud de una repulsión también mutua. Dadas las propiedades de los gases es imposible admitir que haya atracción entre sus moléculas.

Se ha citado algunas veces la cristalización como ejemplo de la atracción mutua de las moléculas de los cuerpos sólidos. Si se analiza bien dicho fenómeno se ve que en él interviene, algunas veces, la fuerza repulsiva.

Se sabe que cuando el agua se enfría suficientemente, en invierno, aparecen en su superficie agujas de hielo, que se acumulan formando témpanos. La mayor parte de los líquidos pueden cristalizarse por el enfriamiento, como el agua.

A primera vista parece que en el fenómeno de la cris-

talización las moléculas se precipitan unas sobre otras alrededor de un centro común de atracción; mas se comprende que si esta fuerza dominara afectarían los cristales formas esféricas lo que no sucede pues generalmente tienen formas mas ó menos alargadas y los cristalillos se disponen en filas regulares indicando el aspecto de la superficie solidificada una orientación particular de esos cristales.

Así, tratándose especialmente del agua, el dominio de la fuerza repulsiva sobre la atractiva es evidente y se manifiesta por el aumento de volúmen. Sabido es que el hielo tiene menos densidad que el agua líquida, es decir, que la distribución de las moléculas indica comparando con el estado líquido, una separación y no una atracción. Esa fuerza repulsiva causa del aumento de volúmen, que al formarse adquiere el hielo, se traduce en fuerza expansiva tan considerable que puede romper las vasijas en que está contenida el agua. Las piedras que se resquebrajan ó parten después de una helada, lo verifican por causa del agua que penetró en sus poros y se congeló en ellos.

Para demostrar el físico inglés Williams esa fuerza expansiva del hielo, puso en una atmósfera de muchos grados bajo cero una bomba llena de agua, después de haber cerrado sólidamente su orificio con un tapón de madera. En el momento de la congelación fué lanzado éste con fuerza á gran distancia, quedando alrededor del orificio un reborde de hielo.

El agua no es la única sustancia que al solidificarse aumenta de volúmen, pues presentan el mismo fenómeno el hierro fundido, el bismuto y el antimonio.

Los hechos observados inducen á admitir en los cuerpos una atracción y una repulsión; si bien las leyes del movimiento de las moléculas aun no se han definido. Cuando se encuentre la expresión matemática de esas leyes se fundará una mecánica molecular.

Estúdianse también en Física ejemplos de atracción



molecular la cual se manifiesta en la adherencia de cuerpos diferentes, sólidos ó líquidos, este fenómeno se produce cuando entre ellos no se interpone el aire.

El agua atraé el vidrio, al cual moja. En virtud de la acción recíproca de las molecúlas del vidrio y del agua, se eleva este líquido en un tubo capilar. La atracción explica la ascención del agua en un pedazo de azúcar y en los cuerpos porosos; así como también la absorción de los gases por los sólidos hasta por los metales mas compactos.

Si se enrojece al fuego un pedazo de platino y después de dejarlo enfriar en medio de gas hidrógeno, se introduce en un tubo muy caliente de porcelana, en el cual se hace el vacio, el platino suelta el hidrógeno.

La atracción entre moléculas de sustancias diferentes se observa también en los fenómenos de disolución. El azúcar, la sal, etc., desaparecen si se les sumerje en el agua: se dice que se disuelven. Sus moléculas se separan como si las del agua ejercieran sobre ellas una atracción superior á la que mutuamente les atraé.

Dos líquidos diferentes pueden mezclarse íntimamente si están sobrepuestos el uno al otro, dándose á este fenómeno el nombre de fusión. Se ve que una capa de vino tinto sobrenadando en un vaso de agua, se mezcla lentamente con ésta, y al cabo de cierto tiempo toda el agua está enrojecida. La gravedad, lejos de favorecer esta operación, la contiene, puesto que tiende á colocar el vino, menos denso que el agua, sobre ésta.

Estos y otros varios fenómenos demuestran la existencia de la fuerza atracctiva, la existencia de la fuerza repulsiva se demuestra á su vez por la vaporización, por la fuerza expansiva de los gases y por la disociación de los cuerpos compuestos.

Desde hace mucho tiempo se conocen sustancias susceptibles de sufrir una descomposición química á ciertas tem-

peraturas. Si se tiende dentro del agua un hilo de platino y se hace pasar por él una corriente eléctrica, pequeñas burbujas de gas se forman sobre el hilo y se desprenden sucesivamente; recogiéndose el gas se ve que está formado por una mezcla de oxígeno é hidrógeno.

El papel importante que la electricidad desempeña en los fenómenos tanto físicos como químicos es la mejor prueba de que las fuerzas eléctricas extienden su dominio á todas las manifestaciones de la naturaleza, imperan en el mundo de los átomos, como imperan en el mundo de los astros,

La Química emplea dos métodos ó procedimientos esenciales, uno es la síntesis, el otro el análisis. El primero supone la unión de varios elementos para formar un cuerpo nuevo; el segundo consiste en la separación de esos mismos elementos. La síntesis representa la fuerza atractiva, el análisis la fuerza repulsiva. Si en virtud de la síntesis ó composición, varios cuerpos se unen para formar otros diferentes, la naturaleza proporciona fuerzas capaces de operar la separación de esos elementos. La unión no es definitiva y, por íntima que se le suponga, el análisis separa los elementos de la composición, siendo la separación tan completa, que no parece sino que jamás estuvieron unidos los cuerpos componentes.

Los fenómenos físicos son asimismo el resultado de dos fuerzas iguales y contrarias.

El sonido, por ejemplo, resulta, según enseña la Física, de rápidas oscilaciones comunicadas á las moléculas de los cuerpos elásticos, cuando ha perturbado su equilibrio algún choque ó rozamiento, en cuyo caso tienden á recobrar su posición primitiva, si bien no lo consiguen sino después de haber hecho varios movimientos oscilatorios ó de vaivén sumamente rápidos. Las vibraciones de los cuerpos sonoros se comprueban experimentalmente; si se coloca polvo fino sobre un cuerpo sonoro, se observa que toma el polvo un rá-



pido movimiento, haciendo de este modo visibles las vibraciones del mismo; así también, si se toca una cuerda tirante y algo larga, son aparentes á la simple vista sus vibraciones; ó si se toma una campana de vidrio que se coge con una mano por medio de una asa, y con la otra se le da un golpe para hacerla vibrar. (Fig. 8.)

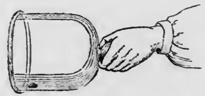


Figura 8.

Ahora bien si se ha puesto interiormente un fragmenmento de metal ú otra sustancia dura, se levanta el cuerpecito rápidamente por las vibraciones sucesivas de las paredes, en las cuales deja oir choques repetidos; pero si se pone la mano sobre la campana, deteniendo así las vibraciones, cesan al instante los choques.

Estudiando el fenómeno de la propagación del sonido, se ve claramente la intervención de dos fuerzas.

Para simplificar esta teoría se considera en primer lugar el caso en que se propaga el sonido por un tubo indefinido M N (Fig. 9) lleno de aire á una presión y temperatura

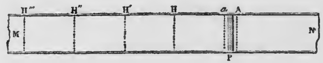


Figura 9

constantes, y provisto de un émbolo P que oscila con suma velocidad de $A\ a$, y recíprocamente: en el primer caso comprime el émbolo al aire que contiene el tubo, y por efecto de

la gran comprensibilidad de este fluido no se hace la condensación en todo el tubo, sino solamente en cierta parte a H, que se llama *onda condensada*.

Sin embargo no todas las porciones de esta onda presentan igual condensación; ni tampoco es idéntica su velocidad, porque el émbolo en su movimiento oscilatorio las tiene variables. Nula desde luego en A, va creciendo progresivamente hasta la mitad de su carrera, para menguar después hasta *a*, donde vuelve á ser nula. De aquí resultan en la onda *a H* densidades y velocidades del aire que varían á la par que la velocidad del émbolo; en *a*, donde se encuentra éste en reposo, la del aire es nula, habiendo recobrado este fluido su densidad primitiva; y en H, punto en que finaliza la onda, son las mismas ambas que en *a*. Pero en los puntos intermedios crecen estas cantidades desde *a* hasta la sección media de la onda para decrecer en seguida hasta H.

Si se supone dividido el tubo M N en espacios iguales á *a H*, y repartido cada uno de éstos en secciones paralelas al émbolo, demuéstrase mediante el cálculo que puesta en reposo la primera sección de la onda *a H*, empieza á participar del movimiento la primera sección de la parte H H'; luego después, cuando la segunda sección de la onda *a H* pasa al estado de reposo, se comunica el movimiento á la segunda de H H', y así continuando de una sección á otra en los espacios H' H'', H'' H'''. Adelantándose, pues, en el tubo la onda condensada, pasando sucesivamente cada una de sus partes por los mismos grados de velocidad y condensación.

Al retroceder después el émbolo en la dirección *a A*, se forma detrás de él un vacío en que se dilata la capa de aire en contacto con la cara posterior del émbolo. Dilatada luego la capa siguiente, vuelve la primera á su estado primitivo de condensación, y así prosiguiendo de capa en capa; por manera que cuando regresa á A el émbolo, se produce una



*onda dilatada* de igual espacio que la condensada, á la cual sigue inmediatamente en el tubo cilíndrico, donde se propagan juntas, como que las respectivas secciones de entrambas ondas poseen *velocidades iguales y contrarias*.

El conjunto de la onda condensada y de la enrarecida forma una onda sonora, es decir, que una de estas comprende la parte de la columna de aire modificada durante una ida y una vuelta del émbolo. Por longitud de la onda sonora se entiende el grueso de las ondas condensada y dilatada reunidas, ó sea el espacio que recorre el sonido en el tiempo de una vibración completa del cuerpo que le produce: esta longitud es tanto menor, cuanto más rápidas son las vibraciones.

Fácilmente se pasa de la teoría del movimiento de las ondas sonoras en un cilindro á la del mismo en un medio indefinido en todos sentidos; bastando para esto aplicar en todas direcciones á cada molécula de los cuerpos vibrantes cuanto queda dicho de un émbolo movible en un tubo. Prodúcese, en efecto, alrededor de cada centro de vibración una serie de ondas esféricas alternativamente condensadas y enrarecidas, las cuales como comprendidas entre dos superficies esféricas concéntricas cuyos radios crecen gradualmente, mientras permanece constante la longitud de ondulación, se aumenta su masa á medida que se alejan de dicho centro, resultando de esto que se va debilitando por grados la velocidad de vibración dada á las moléculas, y que disminuye la intensidad del sonido.

Estas ondas esféricas alternativamente condensadas y enrarecidas son las que propagadas en el espacio trasmiten en él el sonido. Si se agitan al mismo tiempo muchos puntos, fórmase en torno de cada uno de ellos un sistema de ondas parecido al anterior, y que se trasmiten las unas por entre las otras, sin modificar su longitud ni su velocidad. Ora las ondas condensadas ó dilatadas se superponen sobre otras de la misma naturaleza, produciendo así un efecto igual á su

suma; ora se encuentran y causan un efecto equivalente á su diferencia. Basta agitar en varios puntos la superficie de una agua mansa para hacer sensible á la vista la coexistencia de las ondas. Este admirable fenómeno explica los efectos de una orquesta; los diversos sonidos que producen varios instrumentos ejecutados á la vez, tiene, cada uno su onda propia que no destruye las de los demás. Las relaciones de los sonidos sucesivos dados por un mismo tubo sonoro indican que la columna de aire contenida en el tubo se subdivide en partes alícuotas cada vez más cortas que vibran unísonas. En efecto, la teoría y la experiencia demuestran que existen por trechos en la columna de aire capas fijas que son *nodos*, y que entre dos nodos consecutivos siempre se encuentra una sección en que el aire alcanza un máximun de vibración, que es el *vientre*. El carácter de los nodos es que el aire no vibra en ellos, pero experimenta continuas variaciones de densidad y presión; siendo así que el de los vientres consiste en que el aire vibra allí constantemente sin cambiar de densidad ni de presión.

He aquí un experimento que comprueba la existencia de los nodos y vientres de vibración en los tubos sonoros:

Se pega un pedazo de binza en un rollito de cartón sostenido por tres hilos como un platillo de balanza, y echando luego arena sobre la binza, se baja todo ello despacio en el tubo mientras suena. (Fig 10.) De trecho en trecho se observa que los granos de arena no reciben ningún movimiento del pedazo de binza y quedan inmóviles, estando allí los nodos; al paso que en las posiciones intermedias se proyectan con más ó menos prontitud los granos de arena por las vibraciones que la binza recibe del aire.

Con otros varios experimentos se prueba que un mismo tubo, abierto ó cerrado, cualquiera que sea el número de los nodos, siempre están equidistantes entre sí, y el medio entre dos nodos es siempre un vientre.



En los tubos cerrados, estos nodos y vientres tienen por causa la reflexión de las ondas sonoras sobre el fondo. Las ondas reflejadas cruzan entonces las directas sin alterarlas; pero ó las ondas que se encuentran son de igual sentido, y entonces se sobreponen para dar un máximun de vibración, esto es, un vientre; ó bien son de sentido contrario, y equilibrándose dan origen á un nodo. En los tubos abiertos se reflejan las ondas sonoras contra la masa de aire indefinida situada extensivamente.



Figura 10.

En cuanto á las variaciones de densidad y de presión que se producen en los nodos, resultan de las condensaciones y rarefacciones sucesivas de las ondas, en virtud de las cuales se acercan ó alejan alternativamente de los nodos las capas de aire.

Se emplean varios instrumentos para demostrar las vibraciones de los cuerpos sonoros. Hay por ejemplo el método gráfico, que consiste en fijar sobre el cuerpo sonoro un estilete pequeño que traza sus vibraciones en una superficie preparada del modo debido.

El aparato siguiente, fundado sobre este método é imaginado por Duhamel, consta de un cilindro A de madera ó metal, fijo en un eje vertical O (Fig. 11), que da vueltas por medio de un manubrio, y al mismo tiempo que gira en uno ú otro sentido, toma un movimiento de arriba hacia abajo ó viceversa á beneficio de un tornillo trazado en el mismo eje y que pasa por una tuerca. Alrededor del cilindro está arrollado un pliego de papel cubierto de una capa ligera y no adherente de negro de humo, en la que se inscriben las vibraciones. Para esto, siendo el cuerpo sonoro v. gr. una lámina elástica C sujeta á uno de sus extre-

mos, se fija en el otro un estilete que arraza la superficie del cilindro durante la rotación. Si este dá vuelta sin que vibre la lámina, el estilete marca en blanco sobre el fondo negro

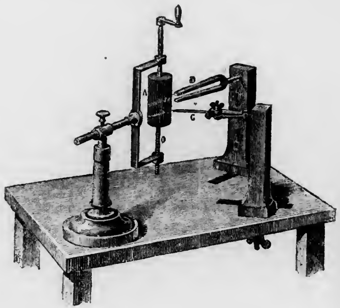


Figura 11.

una raya helicoide regular; mas si aquella vibra, la raya es ondulada y resultan tantas ondulaciones como vibraciones de la lámina, sin quedar otra cosa que determinar el tiempo que duran estas últimas.

De varios modos se puede conseguir esto, siendo uno de los mas sencillos el comparar la curva trazada por la lámina vibrante á la de un diapasón que da por segundo un número de vibraciones conocido, v. gr. 500.

Se ha tratado con alguna extensión lo relativo á la teoría acústica, porque lo que se dice del sonido es en gran parte, aplicable á los demas fenómenos físicos, el calor, la luz, la electricidad y el magnetismo.

Estas últimas manifestaciones de la naturaleza no



han sido analizadas con la misma minuciosidad que los fenómenos del sonido. Sin embargo, hay razones suficientes para afirmar que los fenómenos de la luz, del calor y de la electricidad ó magnetismo se producen por un mecanismo análogo al del sonido, ya que las leyes de propagación, reflexión y refracción son idénticas en aquellos y en este. El físico alemán Sondhauss ha demostrado que también se refractan las ondas sonoras como se refractan los rayos caloríficos y luminosos; y cada día se descubren nuevas relaciones entre el fenómeno del sonido y los demas fenómenos físicos.

La teoría que ahora reina en la ciencia, la teoría de las ondulaciones, por la sola denominación que ha recibido, revela la semejanza á que se ha hecho referencia. Ahora bien si en todos los fenómenos físicos se producen ondas, deben existir las dos fuerzas iguales y contrarias que á aquellas caracterizan; y que son á la vez la causa del movimiento de vaivén ó de ida y vuelta.



Figura 12.

Así, v.gr., la luz eléctrica que da el carrete de Ruhmkorff, si no se hace el vacío en el huevo eléctrico sino hasta después de haber introducido en él vapor de esencia de trementina ó alcohol, etc., aparece la luz en forma de estratos ó zonas alternativamente brillantes y oscuras, que componen como una pila de luz entre los dos polos. [fig. 12]

Estas zonas parecen animadas de un doble y rápido movimiento ondulatorio y giratorio. La Rive ha opinado que la estratificación de la luz eléctrica es un fenómeno análogo á la producción de las ondas sonoras, es decir, un fenómeno mecánico procedente de una

sucesión de impulsiones isócronas ejercidas sobre la columna gaseosa enrarecida. Es de advertise asimismo que la electricidad produce, según los casos, el análisis y la síntesis del agua, las separación ó la unión de sus elementos.

Según lo expuesto, todos los movimientos vibratorios que se denominan fenómenos físicos, se originan probablemente por el concurso de dos fuerzas iguales y contrarias.

Se ha visto que el sonido es la vibración producida por dichas fuerzas, esto es, por el choque de un cuerpo duro con otro elástico, y la reacción de este último que tiende á recobrar su posición primitiva. La segunda de esas fuerzas es igual á la primera; porque mientras más fuerte es el choque, mas considerable es la reacción. Esta, por otra parte, no es una fuerza que se le comunique al cuerpo sonoro del exterior, sino una energía propia del tal cuerpo; observación cuya importancia se comprenderá mejor cuando se estudien otras leyes.

Escuelas célebres de Filosofía y eminentes filósofos admiten dos fuerzas en el Universo, las cuales han intervenido en su génesis y siguen interviniendo en su conservación. Según Pitágoras, todo lo que caé bajo la experiencia se explica por el número. El número es no solamente la forma, sino la sustancia de las cosas. El número se compone de dos elementos: la mónada y la diade indefinida, el impar y el par.

La cosmogonía es, en concepto de Platón, la obra de dos principios opuestos de la naturaleza, reconciliados por la armonía.

Todas las obras físicas de Aristóteles además de poner de manifiesto claramente la tendencia filosófica á hacer depender de un principio único todos los fenómenos del Universo explica estos por las oposiciones renovadas incesantemente del frío y del calor, de la sequía y de la humedad, de la rarefacción y de la densidad; y por las alteraciones producidas en el mundo material por una especie de antagonismo



interior que traé á la memoria las hipótesis modernas de polaridades opuestas y el contraste del + y el —. La Divinidad, para el gran filósofo de Estagira, es la más alta unidad ordenatriz.

Según Telesio, adversario de la física peripatética en Italia, todos los fenómenos son efecto de dos principios inmateriales, ó de dos fuerzas, el frío y el calor.

La teoría llamada dinámica sostiene que los cuerpos se han formado de puntos de fuerza sin extensión. Esas fuerzas simples, que Leibnitz llama también mónadas, tienen dos propiedades esenciales, la atracción y la repulsión.

Kant, en su «Teoría del Cielo», empleando el estilo oscuro, pero á la vez metafísico y elevado propio de la filosofía alemana, describe la masa de materia nebulosa reducida á un estado de división extrema y diseminada en todo el espacio donde circulan hoy los planetas. En ese caos primitivo las moléculas se encuentran en un principio en reposo; pero se hallan sometidas por esencia á dos fuerzas que las ponen pronto en movimiento y se convierten para ellas en manantiales de vida, á saber: la atracción neutoniana y una fuerza repulsiva sensible entre pequeñas partículas vecinas. La primera tiene por objeto reunir en una sola masa toda la materia ligera que rodea el elemento más denso, y después aglomerar las masas así formadas alrededor de centros más densos aún, de manera que crean núcleos bastante grandes y poderosos para continuar en seguida acrecentándose por su acción á distancia. La fuerza repulsiva, desviando lateralmente las moléculas atraídas por el centro, produce movimientos de toda suerte, de los que no subsistirán, finalmente, sino movimientos circulares, paralelos y en el mismo sentido, en los cuales la fuerza centrífuga está equilibrada por la fuerza de caída. Las moléculas que llegan hasta el Sol están, por otra parte, afectadas de ese género de desviación; de suerte

que el Sol se encuentra animado de una rotación en el mismo sentido.

Como quiera que sea el maravilloso Cosmos no se comprende si no se admiten dos fuerzas contrarias; si desapareciera, aunque fuera un momento, una sola de ellas, vendría en seguida la confusión ó el caos; el Universo no podría subsistir, porque ó bien la materia sideral se reuniría formando un solo cuerpo, ó bien los átomos repeliéndose constantemente ocasionarían la disolución universal.

## CAPITULO VII.

**Magnetismo en general. - Magnetismo terrestre. - Magnetismo solar. - Grandes astrónomos han presendido la teoría del magnetismo.**

De lo expuesto hasta aquí se deduce que el sistema del Mundo, ó sean los movimientos perpetuos, regulares y armónicos de los cuerpos celestes alrededor del Sol, no pueden ser producidos por la sola fuerza constante denominada gravedad; que con esta última debe combinarse otra fuerza contraria é igual y por ende constante, que no puede ser sino la repulsión. Existen en la naturaleza cierta clase de fenómenos, que son los fenómenos magnéticos y eléctricos, cuyo estudio ayudará á resolver el problema; porque en ellos se manifiestan á la vez las dos fuerzas de que se ha hecho mención.

Se sabe que se llaman imanes unas sustancias que tienen la propiedad de atraer al hierro y á algunos otros metales, que son el niquel, el cobalto y el cromo. Sin embargo se comprueba que los imanes obran realmente sobre todos los cuerpos, ya por atracción, ya por repulsión. Las atrac-



ciones y repulsiones que ejerce el imán sobre otras sustancias es mutua, lo cual constituye por otra parte un principio general de todas las atracciones y repulsiones. La teoría física de los imanes se designa con el nombre de magnetismo.

Parecen idénticos los dos polos de un imán al presentarlos á las limaduras de hierro, pero esta identidad no es mas de aparente. En efecto, suspéndase una agujita imantada *a b* (Fig. 13) á la extremidad de un hilo delgado, y aproxímese al polo austral *a* el polo austral A de otra aguja y se observará una viva repulsión; mientras que por el contrario si se acerca al polo A al boreal de la aguja móvil, se produce una fuerte atracción. Luego los polos *a* y *b* no son idénticos, supuesto que uno es repelido y el otro atraído por el mismo polo A del imán que se tiene asido con la mano. Asimismo se comprueba que se diferencian entre sí los dos polos de este último, presentándolos sucesivamente al mismo polo *a* de la aguja movible. Con uno hay repulsión, y atracción con otro; y así podemos sentar esta sencilla ley sobre las acciones mutuas que se ejercen entre dos imanes: *Los polos del mismo nombre se repelen, y los polos de nombre contrario se atraen.*

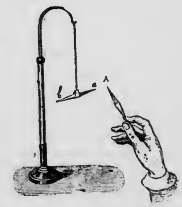


Figura 13

Ademas se demuestran las acciones contrarias de los polos norte y sur por medio de este experimento: suspéndese de un imán un objeto de hierro, v. gr. una llave, y sobre este primer imán se corre otro sensiblemente de la misma fuerza, procurando poner enfrente los polos contrarios. Sigue sostenida la llave mientras están distantes ambos polos, pero así que se hallan bastante cerca, cae como si la barra imantada que la sostenía hubiese perdido de pronto su propiedad mag-

nética; sin embargo nada de esto sucede, pues puede sostenerla de nuevo en el acto mismo de separar la segunda barra.

Coulomb fué el primero que en 1802 observó que los imanes actuan sobre todos los cuerpos con mayor ó menor energía, según lo comprobó haciendo oscilar barritas de diferentes sustancias entre los polos opuestos de dos fuertes barras imantadas, luego fuera de la influencia de todo imán, y comparando en seguida el número de oscilaciones hechas en los dos casos en tiempos iguales. Al principio se atribuyeron estos fenómenos á la presencia de materias ferruginosas en los cuerpos sometidos al experimento; pero Lebaillif, Faraday y Becquerel demostraron que los imanes ejercen realmente una acción sobre todos los cuerpos y hasta sobre los gases. Ademas se ha hecho constar que esta acción es unas veces atractiva y otras repulsiva, llamándose *magnéticos* los cuerpos atraídos, y los repelidos *diamágneticos*: entre estos se encuentran el bismuto, el plomo, el azufre, la cera, el agua, etc., el cobre es ya magnético ó ya diamagnético, lo cual consiste probablemente en su grado de pureza.

Faraday en 1847 había reconocido que los imanes poderosos ejercen sobre las llamas una acción repulsiva que él atribuyó á una diferencia de diamagnetismo entre los gases. Después Ed. Becquerel ha visto que entre todos los gases es el oxígeno el de mayor poder magnético, y que un metro cúbico de este gas condensado obraría sobre una aguja imantada como $5^{gr},5$ de hierro.

El ilustre sabio Coulomb fué también quien comprobó primero la ley de que *las atracciones y repulsiones magnéticas se ejercen en razón inversa del cuadrado de las distancias*, demostrándola por dos métodos, el de la balanza de torsión y el de las oscilaciones.

1ro.—*Método de la balanza de torsión.*

Esta balanza consiste en una caja de vidrio (Figura 14) cubierta con un cristal que se quita cuando se quiere, y que lleva cerca de sus bordes una abertura por don-



de entra un imán A. En el centro de la misma tapa hay otra abertura á que va adaptado un tubo de vidrio, que puede girar á frotamiento suave por las orillas del orificio, y que tiene en su parte superior un *micrómetro*. Así se llama un sistema de dos piezas, de las cuales la *e*, que es fija, está dividida por su contorno en 360 grados, y la *d*, móvil, lleva un índice fijo que manifiesta los grados que ha girado esta pieza *d* sobre el cuadrante *e*. A la izquierda del dibujo, en E y D, están representadas en mayor escala las dos piezas del micrómetro, viéndose en el disco D dos pies atravesados por un eje horizontal en que se arrolla un alambre de plata muy delgado para sostener una aguja imantada *a b*. Por fin, en una tira de papel pegada á la caja están trazadas á la derecha y á la izquierda del cero *o* divisiones correspondientes á ángulos en los centros iguales, que sirven para medir la separación de la aguja *a b*, y en su consecuencia la torsión del alambre de plata.

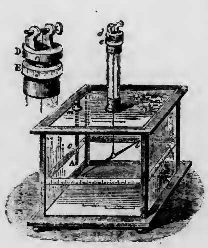


Figura 14.

Situado el índice *c* del disco D en el cero del círculo graduado E, se empieza orientando la caja de modo que el alambre que sostiene la aguja *a b* y el cero marcado en la faja de papel se encuentren en el meridiano magnético; sacada entonces la aguja de su chapa, se pone en su lugar otra semejante de cobre, y luego se da vueltas al tubo de vidrio y con él á las piezas *e* y *d*, hasta que la aguja vaya á pararse en el cero de la graduación. Estando entonces sin torsión el alam-

bre de plata y no hallándose aún en su sitio la barra imantada A, se quita la aguja de cobre de la chapa y se repone la imantada *a b*, la cual se halla entonces exactamente en el meridiano magnético sin torsión de alambre.

Dispuesto así el aparato, y antes de introducir el imán A, es necesario conocer la acción de la tierra sobre la aguja movible *ab* al desviarse del meridiano magnético cierto número de grados. Para esto se hace girar la pieza D hasta que la aguja *a b* se mueva 1 grado en el mismo sentido. Representa sin duda la torsión total del alambre el número de grados menos uno, que ha recorrido el micrómetro. En los experimentos de Coulomb era 35, pero varía con la longitud del alambre, su diámetro y la intensidad de la barra *a b*. Así que, permaneciendo ahora en equilibrio la aguja, claro está que la fuerza de torsión del alambre es precisamente igual y contraria á la acción directriz de la tierra. Luego esta acción en dichos experimentos estaba representada por 35 para una desviación de 1 grado; más siendo proporcionada la fuerza de torsión al ángulo de la misma (71,2°,) é igual á la acción directriz de la tierra, al haber equilibrio, resulta que esta última fuerza para desviaciones de 2, 3..... grados está representada por 2, 3 veces 35 grados.

Una vez determinada la acción de la tierra, se baja el imán A, procurando poner enfrente los polos del mismo nombre. Es repelido el polo *a* de la aguja móvil, y si se representa por *d* el número de grados que mide el ángulo de desviación al estar en equilibrio la aguja *a b*, tiende ésta hacia el meridiano magnético con una fuerza representada por la suma $d+35\times d$, debida la parte *d* á la torsión del alambre y la $35\times d$ á la acción de la tierra; y supuesto que no llega al mismo, es preciso que la fuerza repulsiva que se ejerce entre los polos *a* y A sea también igual á $d+35\times d$. En este supuesto, se gira el disco D de modo que el ángulo de desviación *d* llegue á ser dos veces menor, y según la posición de



la aguja *a b* en la figura de arriba, habría que girar de derecha á izquierda. Representado por *n* la rotación del disco D, se ve que el alambre de suspensión está torcido en su extremo superior *n* grados á la derecha, y en el inferior $\frac{d}{2}$ grados á la izquierda, y por tanto su torsión es $n+\frac{d}{2}$. Luego la fuerza real que tiende á llevar la aguja hacia el meridiano magnético es $\left(n+\frac{d}{2}\right)+35\times\frac{d}{2}$, representando la parte $n+\frac{d}{2}$ la fuerza de torsion, y la $35\times\frac{d}{2}$ la acción de la tierra; y como no vuelve la aguja hacia el meridiano, es menester que la fuerza repulsiva que se ejerce entre los polos *a* y A esté ahora representado por.........
$\left(n+\frac{d}{2}\right)+35\times\frac{d}{2}$.

Ahora bien, efectuando los cálculos, ó sea reemplazando *n* y *d* por los números que da el experimento, se ve que la cantidad $\left(n+\frac{d}{2}\right)+35\times\frac{d}{2}$ es cabalmente el cuádruplo de la cantidad $d+35\times d$ que se obtuvo en la primera experiencia; de modo que queda demostrada la ley de Coulomb, porque se experimenta con arcos *d* y $\frac{d}{2}$ bastante pequeños para que se confundan sensiblemente con sus cuerdas es decir, que cuando el arco se pone dos veces menor, sucede sensiblemente otro tanto á la distancia *a* A de los polos.

2º *Método de oscilaciones*.—Redúcese á hacer oscilar por tiempos iguales una aguja imantada, primero bajo la influencia sola de la tierra; y luego bajo la de ésta combinada con la del polo atractivo de un imán situado sucesivamente á dos distancias desiguales. De los tres números de oscilaciones observadas se deduce en seguida por cálculo la ley de Coulomb.

La ley, según la cual, la energía obra en razón in-

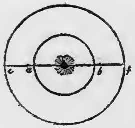


Figura 15.

versa del cuadrado de la distancia es general y puede demostrarse por el razonamiento y la experiencia.

En efecto, tratándose de la fuerza llamada calor si se concibe primero una esfera *a b* (Fig. 15,) de un radio cualquiera, y en su centro un foco constante de calor C, cada unidad de superficie de la pared interior recibe una cantidad determinada de calor. Pero si se considera una esfera C *f* de radio duplo, será cuatro veces mayor su superficie en virtud de un teorema conocido de geometría, y por lo tanto la pared interior contendrá cuatro veces más unidades de superficie, y como no varía la cantidad de calor emitida desde el centro, es claro que cada unidad recibirá necesariamente cuatro veces menos.

Para demostrar la misma ley experimentalmente se toma una caja de hojalata llena de agua caliente, con su cara anterior recubierta de negro de humo [Fig. 16,] y delan-

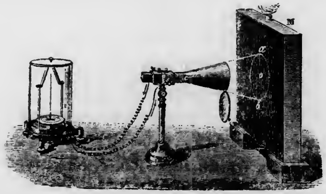


Figura 16.

te de esta cara se dispone el aparato termo-eléctrico de Melloni. La pila está provista de su reflector cónico, y la pared interna de este se halla también cubierta de negro de humo para impedir toda reflección interior. Colocada



desde luego la cara de la pila á una corta distancia *c o*, la aguja del galvanómetro se desvía y detiene, por ejemplo, á 80 grados.

Si se aparta la pila á una distancia C O doble de *c o* [Fig. 17], el galvanómetro conserva la misma desviación 80,

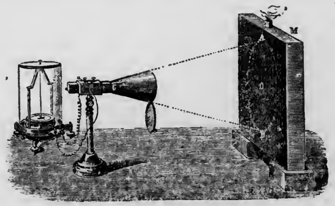


Figura 17

lo que prueba que la pila sigue recibiendo la misma cantidad de calor; sucediendo lo propio si se la lleva á una distancia tres y cuatro veces mayor. Este resultado parece á primera vista contradictorio á la ley que se trata de demostrar, pero al contrario la confirma. Efectivamente, en su primera posición no recibe la pila calor sino de la parte circular *a b* de la pared de la caja, siendo así que en la segunda radía hacia ella la porción circular A B. Siendo, pues, iguales entre sí los dos conos A C B y *a c b*, y doble la altura del primero de la del segundo, el diámetro A B es también doble de *a b* y por lo tanto cuadrúpla la superficie A B de la *a b*, pues se sabe que la superficie del círculo es proporcional al cuadrado de su radio. Por consecuencia, supuesto que creciendo la superficie radiante de la caja como el cuadrado de la distancia queda estacionario el galvanómetro, es preciso que la intensidad del calor recibido por la pila esté en razón inversa del mismo cuadrado.

El magnetismo terrestre se comprueba por la acción directriz de la Tierra sobre los imanes. Cuando se suspende de un hilo una aguja imantada ó cuando se la apoya sobre un eje en cuyo derredor pueda girar libremente, se observa que en vez de pararse la aguja en una posición cualquiera, se fija al fin en una dirección que es más ó menos la de norte á sur. Lo propio acontece si en un vaso lleno de agua se posa un disco pequeño de corcho, al pararse este se halla también sensiblemente en la dirección de norte á sur. No es, pues, atractiva, sino directriz la acción de los polos terrestres sobre los imanes.

En virtud de las observaciones hechas en todos los puntos del globo, se ha comparado la Tierra con un inmenso imán cuyos polos estarían cerca de los terrestres.

La acción magnética de la Tierra sobre una aguja imantada puede compararse con un *par*, es decir, con un sistema de dos fuerzas iguales, paralelas y de dirección contraria, aplicadas á las extremidades de la aguja. En efecto, sea una aguja *a b* móvil sobre un eje y haciendo un ángulo más ó menos grande con el meridiano magnético M M' (Fig. 18). Obrando por atracción el polo boreal de la Tierra sobre

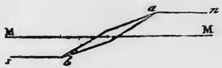



Figura 18.

el polo austral *a*, y por repulsión sobre el polo boreal *b*, resultan de ello dos fuerzas contrarias *a n* y *b s*, paralelas al meridiano magnético é iguales; pues el polo terrestre está bastante distante y la aguja es bastante pequeña para que pueda admitirse que las direcciones *a n* y *b s* son paralelas, y que los polos *a* y *b* de la aguja se hallan igualmente distantes del polo boreal de la tierra. Obrando el polo austral



de esta del mismo modo sobre la aguja, resultan otras dos fuerzas iguales también entre sí y paralelas al meridiano magnético, la una atractiva dirigida por *b s* y la otra repulsiva obrando por *a n*. Ahora bien, las dos fuerzas aplicadas en *a* acaban por dar una resultante igual á su valor; y como sucede lo mismo con las dos fuerzas aplicadas en *b*, la aguja se encuentra sometida finalmente á la acción de dos fuerzas iguales, paralelas y contrarias que tienden á hacerla girar en el mismo sentido. Estas fuerzas son las que constituyen el *par magnético terrestre*, el cual mueve la aguja hasta que se detiene en el meridiano magnético, posición en la que se equilibran las fuerzas aplicadas en *a* y *b*.

Asimismo se demuestra la acción magnética de la Tierra por sus efectos como manantial de magnetismo. Se obtiene la imantación por la acción de la Tierra, siendo comparable esa acción sobre las sustancias magnéticas con la de los imanes. Se consigue imantar una barra de hierro dulce ó de acero colocándolas en el meridiano magnético paralelamente á la inclinación. Por la prolongada influencia del magnetismo terrestre se explica la formación de los imanes naturales, así como la imantación que suele observarse en los objetos antiguos de acero ó hierro.

Los fenómenos magnéticos, según se demostrará después, son fenómenos de influencia ó inducción, es decir, que puestos en presencia unos cuerpos de otros se desarrollan en ellos ciertas energías que están en proporción con las masas.

Así pues, si el magnetismo de los imanes se explica por la acción magnética de la Tierra, considerando á esta como un imán; á su vez el magnetismo terrestre debe explicarse por la acción de otros cuerpos especialmente por la del Sol. De esto existen también pruebas concluyentes.

Desde luego la temperatura del cuerpo central en el supuesto de que fuera muy elevada [lo cual no es probable] no impediría las manifestaciones magnéticas. A este propó-

sito Secchi en su obra «El Sol,» en el capítulo intitulado: «Actividad magnética del Sol», dice lo siguiente:

«El título del presente artículo, sin duda alguna, sorprenderá á más de un lector, porque parece imposible que haya potencia magnética en un cuerpo cuya temperatura es tan alta, y á más se encuentra, en parte en estado gaseoso. Pero Faraday ha hecho ver que el oxígeno y otros gases son magnéticos; y el hidrógeno es diamagnético; por tales descubrimientos se llega á conocer que el magnetismo puede muy bien manifestarse en los fluidos elásticos y por lo tanto que no es incompatible con ningún estado físico.»

La acción del magnetismo solar sobre el magnetismo terrestre es un hecho perfectamente comprobado por la ciencia.

Estudiando las variaciones de la aguja imantada en la brújula, se ve que presenta, en el mismo lugar, muchas variaciones regulares, unas seculares, otras annales y otras diurnas.

Las variaciones anuales y diurnas corresponden á los movimientos propios de la Tierra, el de rotación y el de traslación, relacionados con la posición del Sol.

Estableciendo observatorios magnéticos en ambos hemisferios se ha llegado á poner en claro las leyes que rigen esos interesantes fenómenos.

Cuando una aguja imantada puede moverse libremente, no conserva una posición absolutamente fija respecto á la Tierra, presenta, como se ha dicho, en sus variaciones de posición un periodo diurno y otro anual.

Para determinar la fuerza magnética se estudia de ordinario su declinación, su inclinación y su intensidad. Observando, por medio de instrumentos sumamente sensibles y exactos, la brújula de declinación, se nota que la extremidad dirigida hacia el ecuador se mueve hacia el poniente, desde la salida del Sol hasta hora y media después de haber



pasado este astro por el meridiano magnético; y que, á partir desde esta hora hasta el crepúsculo de la tarde, el movimiento se verifica en sentido contrario. Parece que la extremidad de la aguja huye del Sol. Durante la noche se repite el movimiento, pero con menor amplitud.

En París es de 13 á 15 minutos la amplitud media de las variaciones diurnas en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre, de 8 á 10 minutos en los meses restantes. La amplitud de las variaciones diarias decrece de los polos al ecuador, donde es muy debil.

A más de esos movimientos se observa en la aguja otra variación anual. La oscilación diurna de la brújula de declinación es resultado de dos elementos, uno de ellos constante, el otro dependiente de la declinación del Sol. Estos dos elementos se suman ó se restan, según que la aguja y el astro están ó no en el mismo hemisferio.

Hay un máximo y un mínimo annales, independiente de la posición del Sol respecto de los hemisferios, pero dependiente de la distancia, apogeo ó perigeo.

Las variaciones anuales fueron señaladas por Cassini, quien observó en 1874 que desde el equinoccio de primavera al solsticio de verano retrogradaba la aguja en París hacia el éste, y por el contrario avanzaba hacia el oeste en los nueve meses siguientes. En el mismo año llegó el máximo de variaciones á 20 minutos.

La época de la mayor intensidad magnética, aquella en donde la aguja de inclinación se aproxima más á la vertical, en los dos hemisferios, es la época de mayor proximidad del Sol, aquella en que también el movimiento de traslación de la Tierra alcanza la mayor rapidez.

La dirección de la aguja imantada depende pues, indudablemente del curso del Sol y por la aguja imantada puede saberse la hora que es del día ó determinarse la estación del año.

Modifícase asimismo la declinación de la aguja imantada en sus variaciones diurnas por las auroras boreales, fenómenos netamente magneto-eléctricos. El efecto de la aurora boreal se hace sensible á grandes distancias, así algunas visibles solo en el norte de Europa, actúan sobre la aguja en París, donde se observan en la brújula variaciones accidentales de 20 minutos. En las regiones polares suele oscilar la aguja muchos grados, y su marcha irregular durante todo el día que precede á la aurora boreal es presagio del fenómeno. Ahora bien se ha descubierto una correspondencia muy marcada entre las tempestades magnéticas que acompañan á las auroras polares y el estado de las manchas del Sol. Los máximos y mínimos de las variaciones diurnas de la aguja coinciden con los máximos y mínimos de las auroras polares y con los correspondientes á las manchas visibles sobre el Sol.

La coincidencia entre el periodo de las manchas y el magnético debe considerarse como una prueba decisiva de la influencia del Sol en los fenómenos magnéticos.

La citada relación es tan completa que ha podido Wolf, de Zurich, partiendo del número relativo de manchas, calcular el valor medio de las variaciones diurnas de la aguja imantada. La tabla adjunta representa el cuadro comparativo de esos fenómenos:



| MAXIMA | | VARIACION DIURNA |
|---|---|---|
| de las manchas | de las auroras boreales | de la aguja (media) |
| 1706 | 1707 | ” |
| 1718 | 1721 | 40' Londres (Graham) |
| 1728 | 1728 | ” |
| 1739 | 1738 | ” |
| 1750 | 1749 | ” |
| 1761 | 1760 | ” |
| 1770 | 1769 | ” |
| 1779 | 1779 | ” |
| 1788 | 1788 | 23,0 París (Cassini) |
| 1804 | 1804 | ” |
| 1817 | 1816 | ” |
| 1830 | 1830 | 13,'07 París. |
| 1837 | 1839 | 11,47 Munich. |
| 1848 | 1848 | 11,55 |
| 1860 | 1859 | 11,17 |
| 1871 | 1871 | 11,13 Roma. |

| MINIMA | | VARIACION DIURNA |
|---|---|---|
| de las manchas | de las auroras boreales | de la aguja. |
| 1698 | 1700 | ” |
| 1712 | 1714 | ” |
| 1723 | 1724 | ” |
| 1733 | 1733 | ” |
| 1745 | 1745 | ” |
| 1758 | 1755 | ” |
| 1766 | 1766 | ” |
| 1776 | 1776 | ” |
| 1785 | 1785 | 16',9 París (Cassini) |
| 1799 | 1799 | ” |
| 1811 | 1811 | ” |
| 1823 | 1823 | 8,18 Göttinga. |
| 1834 | 1834 | 8,79 Munich. |
| 1844 | 1844 | 5,24 |
| 1856 | 1856 | 5,02 |
| 1967 | 1867 | 5,05 |
| 1876 | .... | 6,55 Roma 1er. semestre |

En esta tabla para hacer resaltar mejor el paralelismo existente entre la marcha de la aguja imantada y la frecuencia de las manchas, se han reunido en un cuadro los resultados de diecisiete años de observaciones. Es evidente, dice Secchi, comentando la tabla en referencia, que no se trata de fenómenos locales, sino de un hecho verdaderamente cósmico.

He aquí otra tabla que representa las variaciones de la aguja en relación con el número de grupos de manchas solares:

| Año Meteorológico | Variación diurna de la aguja | | Número de grupos de manchas |
|---|---|---|---|
| | En Roma | En Praga | |
| 1859 | 10,'871 | 10',37 | 257 |
| 1860 | 10,984 | 10,05 | 251 |
| 1861 | 9,596 | 9,17 | 251 |
| 1862 | 8,995 | 8,59 | 112 |
| 1863 | 7,861 | 8,84 | 105 |
| 1864 | 8,377 | 8,02 | 97 |
| 1865 | 7,591 | 8,14 | 88 |
| 1866 | 7,143 | 7,65 | 81 |
| 1867 | 6,585 | 7,09 | 32 |
| 1868 | 7,132 | 8,15 | 92 |
| 1869 | 8,953 | 9,44 | 198 |
| 1870 | 10,966 | 11,41 | 262 |
| 1871 | 11,130 | 11,60 | 304 |
| 1872 | 10,653 | 10,70 | 292 |
| 1873 | 9,015 | 9,05 | 200 |
| 1874 | 8,110 | " | 154 |
| 1875 | 6,968 | " | 86 |
| 1876 | 6,55 (*a*) | " | 48 (*a*) |

(a) Primer semestre.

En los diferentes observatorios magnéticos establecidos, sin cesar cuentan y dibujan todas las manchas solares, en correspondencia con las observaciones magnéticas hechas todos los días varias veces, á diferentes horas. Y no solamente la declinación sigue la marcha de las manchas, sino también las fuerzas horizontal y vertical. Sabine lo ha visto así, examinando los resultados obtenidos en los observatorios de Santa Elena, de Hobarton en Tasmania, de Torento en Canadá, de Madras en la India y también en los de Girard College, Filadelfia, Praga, Viena, San Petersburgo, Roma, etc.



Los cambios en la superficie del Sol observados por Mr. Carrington y Mr. Hodgson en 1859, fueron seguidos inmediatamente de una tempestad magnética de inusitada intensidad, así como también de espléndidas auroras, no solo en Europa y América, sino también en el hemisferio austral.

El profesor Young cita un ejemplo interesante de análoga naturaleza. Hallándose ocupado en sus observaciones en Sherman el primero de agosto de 1872, notó una violenta perturbación en la superficie del Sol, y aquel mismo día le dijo el fotógrafo de la expedición (que ocupado también en sus observaciones magnéticas, ignoraba lo que había visto el profesor) que le había sido forzoso suspender sus observaciones magnéticas á causa de las violentas fluctuaciones de la aguja. Después se supo que aquel mismo día estalló en Inglaterra una tempestad magnética.

Se puede también demostrar la acción magnética del Sol por las leyes de las corrientes termo–eléctricas.

El calor da orígen á corrientes que se designan en Física con el nombre de corrientes termo–eléctricas. Estas corrientes son notables por la ligazón que establecen entre el calor y la electricidad.

Muchos cristales naturales como la turmalina y el topacio adquirían propiedades eléctricas cuando se elevaba su temperatura, y Volta anunció que una lámina de plata calentada desigualmente en sus extremos constituía un elemento electro-motor; pero Seebeck fué el primero que en 1821 demostró que el movimiento del calor en un circuito metálico da orígen á corrientes eléctricas.

En esta tabla para hacer resaltar mejor el paralelismo existente entre la marcha de la aguja imantada y la frecuencia de las manchas, se han reunido en un cuadro los resultados de diecisiete años de observaciones. Es evidente, dice Secchi, comentando la tabla en referencia, que no se trata de fenómenos locales, sino de un hecho verdaderamente cósmico.

He aquí otra tabla que representa las variaciones de la aguja en relación con el número de grupos de manchas solares:

| Año Meteorológico | Variación diurna de la aguja | | Número de grupos de manchas |
|---|---|---|---|
| | En Roma | En Praga | |
| 1859........ | 10,'871 | 10',37 | 257 |
| 1860........ | 10,984 | 10,05 | 251 |
| 1861........ | 9,596 | 9,17 | 251 |
| 1862........ | 8,995 | 8,59 | 112 |
| 1863........ | 7,861 | 8,84 | 105 |
| 1864........ | 8,377 | 8,02 | 97 |
| 1865........ | 7,591 | 8,14 | 88 |
| 1866........ | 7,143 | 7,65 | 81 |
| 1867........ | 6,585 | 7,09 | 32 |
| 1868........ | 7,132 | 8,15 | 92 |
| 1869........ | 8,953 | 9,44 | 198 |
| 1870........ | 10,966 | 11,41 | 262 |
| 1871........ | 11,130 | 11,60 | 304 |
| 1872........ | 10,653 | 10,70 | 292 |
| 1873........ | 9,015 | 9,05 | 200 |
| 1874........ | 8,110 | ,, | 154 |
| 1875........ | 6,968 | ,, | 86 |
| 1876........ | 6,55 (*a*) | ,, | 48 (*a*) |

(a) Primer semestre.

En los diferentes observatorios magnéticos establecidos, sin cesar cuentan y dibujan todas las manchas solares, en correspondencia con las observaciones magnéticas hechas todos los días varias veces, á diferentes horas. Y no solamente la declinación sigue la marcha de las manchas, sino también las fuerzas horizontal y vertical. Sabine lo ha visto así, examinando los resultados obtenidos en los observatorios de Santa Elena, de Hobarton en Tasmania, de Torento en Canadá, de Madras en la India y también en los de Girard College, Filadelfia, Praga, Viena, San Petersburgo, Roma, etc.



Los cambios en la superficie del Sol observados por Mr. Carrington y Mr. Hodgson en 1859, fueron seguidos inmediatamente de una tempestad magnética de inusitada intensidad, así como también de espléndidas auroras, no solo en Europa y América, sino también en el hemisferio austral.

El profesor Young cita un ejemplo interesante de análoga naturaleza. Hallándose ocupado en sus observaciones en Sherman el primero de agosto de 1872, notó una violenta perturbación en la superficie del Sol, y aquel mismo día le dijo el fotógrafo de la expedición (que ocupado también en sus observaciones magnéticas, ignoraba lo que había visto el profesor) que le había sido forzoso suspender sus observaciones magnéticas á causa de las violentas fluctuaciones de la aguja. Después se supo que aquel mismo día estalló en Inglaterra una tempestad magnética.

Se puede también demostrar la acción magnética del Sol por las leyes de las corrientes termo-eléctricas.

El calor da orígen á corrientes que se designan en Física con el nombre de corrientes termo-eléctricas. Estas corrientes son notables por la ligazón que establecen entre el calor y la electricidad.

Muchos cristales naturales como la turmalina y el topacio adquirían propiedades eléctricas cuando se elevaba su temperatura, y Volta anunció que una lámina de plata calentada desigualmente en sus extremos constituía un elemento electro-motor; pero Seebeck fué el primero que en 1821 demostró que el movimiento del calor en un circuito metálico da orígen á corrientes eléctricas.

Estas corrientes se comprueban por medio de una lámina de cobre *m n* con los extremos encorbados y soldados á una lámina de bismuto *o p* (Fig. 19). En el interior del circuito que así se forma hay una aguja imantada *a* mó-

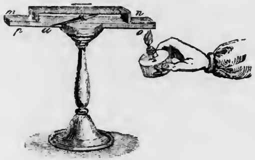


Figura 19.

vil sobre un eje. Puesto el aparato en la dirección del meridiano magnético, se calienta una de las soldaduras y entonces la aguja toma una desviación que indica la producción de una corriente de *n* hacia *m*, esto es, de la soldadura caliente á la fría en el cobre. Si en vez de calentar la soldadura *n* se enfría con hielo, conservando á la otra su temperatura, se produce también una corriente, pero en sentido inverso, esto es, de *m* hacia *n*, y en ambos casos, tiene la corriente tanta más energía cuanto *mayor es la diferencia de temperatura entre las dos soldaduras.*

Una cosa semejante sucede con el Sol y nuestro planeta: en virtud de la forma esférica de este último recibe siempre la acción del Sol en un hemisferio solamente; lo cual da orígen, según se acaba de ver en el experimento anterior á la formación de corrientes eléctricas del hemisferio iluminado al oscuro y viceversa. Ampére ha explicado la acción magnética de la Tierra por la existencia en su superficie de las expresadas corrientes eléctricas dirigidas del este al oeste, paralelamente al ecuador, hipótesis que hace de la Tierra un verda-



dero imán. En esta hipótesis también la acción magnética terrestre se debe al Sol.

Esas corrientes termo–eléctricas son las que dirigen las agujas de las brújulas y los solenoides y obran sobre las corrientas eléctricas.

Cualquiera que sea el medio por el cual el Sol ejerce su acción sobre el magnetismo terrestre, ya se denomine acción directa ó indirecta (cuestión puramente nominal), lo cierto es que la expresada influencia es un hecho incontestable.

Eminentes físicos han demostrado que el globo terrestre no debe toda su potencia magnética á los minerales que gozan de esta propiedad, sino también á otro principio desconocido hasta hoy. Según los trabajos de Gauss la intensidad absoluta del magnetismo terrestre es tal, que cada metro cúbico del astro equivale, por su acción, á ocho imanes de acero imantado á saturación, teniendo cada uno de ellos una libra de peso. Las sustancias que entran en la composición del globo, están bien lejos de tener semejante capacidad, que apenas podrían alcanzar los minerales de hierro. Así es que debe buscarse fuera del globo la causa del magnetismo terrestre.

Hornstein ha procurado determinar la duración de la rotación del Sol, partiendo de la duración de las variaciones periódicas de la aguja observadas en Praga y Viena, obteniendo un resultado satisfactorio.

No es el Sol el único cuerpo celeste que presente fonómenos de magnetismo, porque la Luna ejerce su influencia, si bien débilmente, sobre la aguja imantada. La Física ha demostrado asimismo que el magnetismo se ejerce á través del vacío.

Se ha tratado también de determinar las variaciones particulares que experimenta durante los eclípses el magnetismo terrestre, habiéndose observado que la aguja sufre una acción apreciable en la zona de la totalidad.

Se ha experimentado con hilos telegráficos de varios kilómetros de longitud notándose que existen siempre corrientes eléctricas en la Tierra, que durante las perturbaciones llegan á tener gran intensidad. Se ha deducido de las observaciones de Greenwich, que todos los movimientos magnéticos son debidos á corrientes eléctricas que circulan en la Tierra.

La teoría del magnetismo solar que en esta obra se expone, ha sido vislumbrada por los más grandes astrónomos y sabios; y si ellos no llegaron á descubrir sus leyes, fué sin duda porque la ciencia no había adelantado lo bastante para basar en sus principios la nueva teoría.

Galileo en su célebre diálogo, explica la dirección constante del eje de la Tierra por medio de un centro de acción magnética situado en los espacios celestes.

Kepler, de la misma manera, sospechaba que una fuerza magnética dirigía todos los ejes de los planetas hacia una misma región del cielo y el ilustre astrónomo dice terminantemente que el Sol es un cuerpo magnético y que en él reside la fuerza que mueve los planetas (Kepler, Stella Martis, págs. 32 y 34.) Véase también su Mysterium cosmographicum, C. 20, pág. 71.

Varios sabios modernos, como se verá después, opinan que la luz del Sol es como una aurora boreal perpetua producida por la acción contraria de las fuerzas magnéticas.

Coulomb observa que el Sol está rodeado de una atmósfera magnética, que obra sobre el magnetismo terrestre comunicándole algo de su poder. [Memorias de Matemáticas y Física presentada á la real Academia de Ciencias, tomo IX, año de 1780, pág. 262.)

El barón de Humboldt, en su obra Cosmos, después de haber dicho que nada hasta entonces había demostrado la influencia de las posiciones del Sol sobre el magnetismo terrestre, cambia de parecer, y afirma que han comprobado esa in-



fluencia los excelentes trabajos de Faraday y que las observaciones en ambos hemisferios prueban que el magnetismo terrestre está sometido á una variación anual que depende de la situación del Sol y de la Tierra. (Cosmos, tomo 3, Observaciones complementarias para la segunda parte, a).

Para terminar este capítulo se trascribirán otros pasajes del mismo Humboldt:

«La antorcha (Lucerna Mundi), como la llamaba Copérnico, que reina en el centro del mundo, es el corazón del universo, según la expresión de Théon de Esmirna, y todo lo vivifica por *sus latidos*; es fuente de la luz y del calor radiante, y con respecto á la Tirrra el principio de gran número de fenómenos electro-magnéticos. A este centro debe, sobre todo, referirse la actividad vital de los séres organizados que pueblan nuestro planeta, y particularmente la de los vegetales. Para dar una idea más general de las acciones exteriores porque se manifiesta el poder del Sol, pueden reducirse á dos los cambios principales que produce en la superficie del globo. De una parte, obra por la atracción inherente á su masa, como en el flujo y reflujo del oceano, de la otra, por las ondulaciones y vibraciones del éter, principio de calor y de luz......» Y á los pocos renglones agrega: «El Sol da vida además y sostiene la actividad electro-magnética de la costra terrestre y la del oxígeno contenido en el aire. Ya, en fin, se manifiesta tranquilamente y en silencio por afinidades químicas, y determina los diferentes fenómenos de la vida: entre los vegetales en la endósmosis de las paredes celulares: en los animales, en el tejido de las fibras musculares y nerviosas: ya hace estallar en la atmósfera, la tormenta, los huracanes y las trombas de agua.» (Cosmos, tomo 3, pág. 264.)

El mismo autor dice en otro lugar:

«Es muy probable, como ha declarado Newton, que las sustancias pertenecientes á un mismo grupo de cuerpos ce-

lestes, es decir, al mismo sistema planetario, sean en gran parte las mismas. De aquí puede deducirse que no es solo en nuestro planeta donde la materia sometida á la gravitación esté dotada también de una actividad electro-magnética. La opinión contraria reduciría arbitrariamente el horizonte de las grandes miras cosmológicas. La hipotésis de Coulomb sobre la influencia ejercida por el Sol magnético, y recibida por la Tierra no está por el contrario en contradicción con ninguno de los resultados obtenidos hasta aquí.» (Cosmos, tomo 4, pág. 78.)

## CAPITULO VIII.

**Exposición de la teoría del magnetismo. - Comprobación experimental de los movimientos de rotación y de traslación de los cuerpos celestes, según la nueva teoría. - Se explica por qué unas órbitas son más alargadas que las otras.**

El movimiento de rotación de los planetas sobre sus propios ejes se ha querido explicar por la ley de la inercia. Cuando un cuerpo está animado de un movimiento de rotación y que ninguna acción exterior se ejerce sobre él, el cuerpo continúa girando indefinidamente. El movimiento de rotación de un cuerpo sobre su eje se conserva indefinidamente, como el movimiento rectilíneo y uniforme.

Sin embargo, es fácil ver que no basta la ley de la inercia para explicar el movimiento de rotación de los planetas y los sabios, fundándose en la teoría de la gravitación universal, han pronosticado la cesasión de esos movimientos. Lo que constituye otra prueba más de la insuficiencia de la expresada teoría.



He aquí como se expresa un autor moderno ya citado sobre el particular:

«Las mareas *trabajan* de una manera ú otra, como lo prueba el hecho de que en el estuario de un río arrastran á veces un banco de arena, conduciendo los materiales á otra parte. Esto prueba que hay trabajo y que se consume energía, y ya sabemos que el primero no es posible sin la segunda, en cualquiera de sus formas; pero ¿de dónde procede la energía que da fuerza á las mareas? A primera vista la contestación parece obvia, pues si la Luna ocasiona las mareas, como hemos dicho, claro está que esa energía debe provenir del astro. Esto parece evidente; más por desgracia, no es verdad. Tenemos aquí uno de esos casos, nada raros en la dinámica, en que la verdad dista mucho de lo que parece obvio, y lo aclararemos con un ejemplo. Cuando se dispara una carabina, el dedo del hombre es el que tira del gatillo; pero ¿diríamos que la energía por la cual se ha despedido el proyectil proviene del tirador? Ciertamente no, pues se debe á la pólvora, y todo lo que el hombre hizo se redujo á proporcionar los medios por los cuales se producía la fuerza encerrada en aquella. Hasta cierto punto podemos comparar esto con el problema de las mareas: éstas, levantadas por la Luna, son la causa de orígen por la que se produce cierta dosis de energía, la cual se aplica para verificar el trabajo que las mareas deben efectuar. Por extraño que parezca, esta energía no reside en la Luna, sino en la Tierra misma, y es muy notable que el astro obtenga energía de las mareas, absorbiendo de por sí alguna de la que existe en la Tierra. No damos esto como un resultado obvio: más bien dista mucho de serlo, pues depende de un refinado teorema dinámico.

Debemos comprender claramente la naturaleza de ese centro de energía de que las mareas toman su fuerza y del que la Luna toma incesantemente considerables porciones; mas veamos ahora en que sentido la Tierra posee energía. Ya

sabemos que nuestro planeta gira sobre su eje una vez cada día. Esta rotación es el orígen de la energía, y podemos compararla con la de la rueda volante de una máquina de vapor. Esta rotación es realmente un depósito del que aquella toma energía á cada golpe de pistón. La Tierra se puede comparar con una gigante rueda volante desprendida de la máquina, aunque unida aún con las que hay en el molino. Por sus estupendas dimensiones y rápida velocidad esa gran rueda volante posee un enorme depósito de energía, y ésta debe gastarse antes de que aquella quede en reposo. He aquí por qué, si bien las mareas son debidas á la Luna, la energía que requieren se obtiene tomándola del vasto depósito que tienen á mano en la rotación de la Tierra.

Pero hay una diferencia muy fundamental entre la Tierra y la rueda volante de la máquina. La energía que se toma de ésta y es consumida por las demás, sustitúyese continuamente con otra nueva, y así se mantiene la velocidad de la rueda; pero la Tierra no tiene máquina. Cuando las mareas toman energía y la consumen en su trabajo, no es reemplazada, y de aquí se deduce incontestablemente que la de la rotación de la Tierra debe estar disminuyendo. Esto nos conduce á una consecuencia de la mayor importancia: si se separase de la máquina la rueda volante, esta última, como ya sabemos, daría algunas vueltas aún, pero muy pronto quedaría inmóvil. Una cosa semejante se puede inferir respecto á la Tierra; pero su centro de energía es tan enorme en comparación de las porciones tomadas que puede resistir. Deben trascurrir siglos y siglos antes que la energía de la rotación de la Tierra se pueda agotar por completo con lo que las mareas son susceptibles de tomar; pero el hecho es que la energía decreee, y, por lo tanto, la celeridad de la rotación de la Tierra debe disminuir con seguridad lentamente. Ahora llegamos á una consecuencia que se puede expresar sencillamente: si la celeridad de la rotación disminuye,



la duración del dia debe aumentar, y esto nos conduce al importante hecho de que *las mareas aumentan la duración del dia.*

El día de hoy es más largo que el de ayer, y el de mañana lo será más aún; pero la diferencia es tan pequeña que apenas se ha podido determinar marcadamente en el trascurso de las edades. No pretenderemos decir cuantos siglos han pasado desde que el día era tan sólo un segundo más corto que hoy; pero los siglos no son las unidades de que nos servimos en la evolución de las mareas. Es muy probable que hace un millón de años la diferencia de la duración del día, comparada con la que hoy tiene, fuera de mucha consideración. Penetremos en las profundidades de los tiempos pasados para ver lo que nos dicen las mareas. Si el presente orden de cosas ha sido duradero, hallaríamos el día más y más corto cuanto más retrocediéramos en las épocas anteriores. El día tiene ahora veinticuatro horas: en un tiempo fué de veinte, de once y hasta de seis. ¿Hasta dónde podemos llegar? Cuanto más corto es el día, más se agita la Tierra en el ecuador y mayor es el esfuerzo que imprime á los materiales de la Tierra centrífuga de su rotación. Si la Tierra girase demasiado aprisa no podría mantenerse unida y separaríase en pedazos, por lo cual podemos vislumbrar en el remoto pasado una barrera que se interpone al presente argumento. Hay cierta velocidad que es la mayor que la Tierra podría tener sin riesgo de ruptura; pero no se puede contestar fácilmente cual es el grado exacto de esa velocidad, pues depende de la naturaleza de los materiales de la Tierra, de la temperatura, del efecto de presión y de otros detalles no bien conocidos de nosotros. Sin embargo, por un cálculo se ha demostrado que el más corto periodo de rotación que la Tierra podría tener sin volar en pedazos es de unas tres ó cuatro horas. La doctrina de la evolución de las mareas nos conduce, pues, á deducir que en alguna remota época inconcebible, la Tierra

giraba alrededor de su eje en un periodo de tres ó cuatro horas próximamente.» (R. Stawell Ball, La Historia de los Cielos, pág. 352).

Ningún dato ha podido recoger hasta hoy la ciencia para justificar la aserción de los sabios respecto á la disminución del día en la Tierra, por el contrario consultando los cálculos que en la remota antigüedad se hicieron con objeto de determinar los eclipses se demuestra que el tiempo de la rotación terrestre no ha variado ni en un décimo de segundo durante los tiempos históricos.

Estando la Tierra sujeta á la acción de varios cuerpos celestes particularmente de la Luna y el Sol, que la primera por su proximidad y el segundo por enorme magnitud, ejercen una influencia más considerable, debería forzosamente efectuarse alguna alteración en el movimiento rotatorio del planeta, si no se debiera ese movimiento á una fuerza perpétua y preponderante.

Admitiendo, por ejemplo, en el Sol una sola fuerza atractiva, esa fuerza influiría en el movimiento rotatorio de los planetas tendiendo á retardarlo y detenerlo. En efecto, sea T (Fig. 20) la Tierra, S el centro de atracción solar, y a a' dos

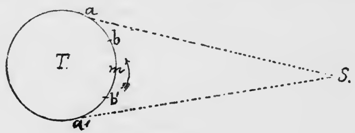



Figura 20.

puntos que se consideren. La atracción solar tendería á aproximar los puntos *a* y *a'* á S, siguiendo las líneas a S y a' S. Mas suponiendo, como supone la teoría neutoniana, que la



Tierra no cayera, esto es, que no se aproximara al Sol, entonces se observaría un fenómeno semejante al que se observa en el péndulo, solo que aquí habría fuerzas iguales y contrarias que tenderían á detener el movimiento rotatorio. Así el punto a tendería á llegar á m, que es el punto más próximo al Sol, pero lo mismo acontecería con el punto a'. Y si se consideran otros puntos cualesquiera simétricamente colocados, por ejemplo, *b* y *b'* sucedería lo mismo que con *a* y *a'*, esto es, actuarían sobre todos los puntos de la esfera fuerzas iguales que tenderían á contrarrestarse. Mientras más pesada es la rueda de un volante, mayor fuerza se requiere para moverla; porque es necesario vencer la gravedad, que se opone al movimiento rotatorio.

Es, por consiguiente, preciso buscar la verdadera causa de ese movimiento que presentan los astros.

En la parte de la Física denominada electro–dinámica, que se ocupa del estudio de las acciones mútuas de las corrientes eléctricas, se demuestran propiedades de la electricidad y se describen aparatos que son una comprobación experimental de la teoría del magnetismo.

A primera vista podría creerse que el movimiento de traslación de los planetas se explicaba admitiendo que por el hecho de presentar al Sol, primero uno de los polos y luego el otro, unas veces son atraídos y otras repelidos por el cuerpo central. Pero el referido hecho no es bastante por sí solo para explicar el fenómeno.

Cuando una corriente eléctrica atraviesa simultáneamente dos hilos metálicos próximos, prodúcese entre estos, según la dirección relativa de ambas corrientes, atracciones ó repulsiones análogas á las que se ejercen entre los polos de los imanes.

Entre dos elementos de corrientes, la atracción y la repulsión están en razón compuesta de las intensidades de las corrientes, y en razón inversa del cuadrado de la distancia.

Fundándose en varios experimentos se han formulado asimismo sobre las acciones dinámicas de las corrientes estas leyes:

1ª Dos corrientes paralelas y en el mismo sentido se atraen.

2ª Dos corrientes paralelas y en sentido contrario se repelen.

3ª Dos corrientes rectilíneas formando un ángulo entre sí, se atraen cuando las dos se aproximan ó se alejan del vértice.

4ª Se repelen si una va hacia el vértice del ángulo y la otra se aparta del mismo.

Estas leyes se demuestran por medio de varios aparatos.

Las atracciones y repulsiones que ejercen entre sí las corrientes angulares pueden trasformarse con facilidad en movimiento circular contínuo. Encuéntrase en la rotación de las corrientes unas por otras la explicación y á la vez la comprobación experimental de los movimientos de los cuerpos celestes según la teoría magnética.

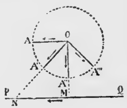


Figura 21.

Sea una corriente O A [Fig. 21,] móvil alrededor del punto O en un plano horizontal, y P Q otra indefinida también horizontal. Dirigidas estas dos corrientes en el sentido de las flechas, es claro que en la posición O A es atraída la corriente móvil por la P Q, supuesto que ambas llevan la misma dirección. Llegada á O A', es atraída por la porción N Q de la corriente fija y repelida por la P N. Del mismo modo, en la pocisión O A'' es atraída por M Q y rechazada por P M, y así seguido; de donde resulta un movimiento continuo de rotación en el sentido A A' A'' A'''...Luego *por efecto de la corriente fija indefinida* P Q *tiende á girar la móvil* O A *con un movimiento contínuo en una dirección re-*



*trógrada respecto á la de la fija.* Si la corriente móvil, en vez de dirigirse de O á A, lo fuese de A á O, sería fácil ver que la rotación se efectuaría en sentido contrario.

Si siendo también horizontales las dos corrientes, la fija es circular en vez de rectilínea, es fácil echar de ver que su efecto será igualmente el producir un movimiento circular contínuo.

Como se ve la corriente P Q actúa sobre la corriente O A en parte atrayéndola y en parte repeliéndola, con lo cual se contiene la aceleración del movimiento que resultaría si hubiera solo atracción ó sólo repulsión.

Las corrientes eléctricas ejercen asimismo sobre los imanes acciones atractivas y repulsivas. Estas acciones son recíprocas, lo cual significa que así como las corrientes obran sobre los imanes, así también recíprocamente, estos obran sobre aquellas para dirigirlas, atraerlas ó rechazarlas.

Esto resulta de varios experimentos de gabinete mediante los cuales se demuestra que una aguja imantada y una corriente tienden á ponerse en cruz. En el aparato de la figura 22 se ve que aproximando una barra imantada gira el

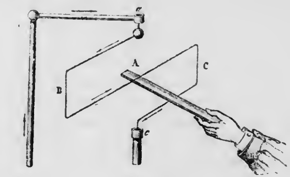


Figura 22.

circuito B C y al cabo de algunas oscilaciones se pone en cruz con la barra.

Los mismos movimientos rotatorios que hacen tomar

unas á otras las corrientes, se producen entre las corrientes y los imanes lo cual demostró por primera vez Faraday á beneficio de este experimento (Fig. 23). En el centro de una ancha proveta llena de mercurio, se introduce una barra imantada A, de unos 20 centímetros de larga, lastrada en su

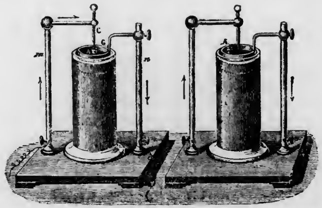


Figura 23. Figura 24.

parte inferior con un apéndice de platino y elevándose algunos milímetros sobre el nivel del mercurio. En la parte superior de la barra hay una cavidad que contiene mercurio. Una corriente que sube por la columna *m* llega al mercurio y á la barra y girando allí alrededor de esta, pasa á una pieza anular de cobre G que entra en el mercurio á lo largo de la pared de la probeta, llega á la columna *n* y vuelve á la pila. Ahora bien, en cuanto pasa la corriente, gira la barra en torno de su eje con una velocidad proporcionada á su fuerza magnética y á la intensidad de la corriente. En cuanto al sentido de la rotación depende del de la corriente, y del polo austral ó boreal que flota en la superficie del mercurio. Si es el polo austral y la corriente desciende hacia el imán como en la figura 23, la rotación se hace en el sentido de las agujas de un reloj de bolsillo; y se efectúa en sentido con-



trario si se invierte el de la corriente ó si es el polo boreal el que flota en la superficie.

Este experimento puede servir para explicar el movimiento de rotación de los planetas sobre sus ejes.

El mismo aparato de Faraday puede igualmente explicar el movimiento de traslación de los cuerpos celestes, admitiendo como se ha dicho que éstos son como imanes, y que en el Sol existen corrientes eléctricas que deban actuar sobre ellos.

El experimento se dispone como lo indica la figura 24, la barra no gira ya sobre sí misma, sino en torno del eje vertical pasando por el vástago C.



Figura 25. Figura 26.

Las figuras 25 y 26 correspondientes la primera al experimento de la figura 23 y la segunda al que se ve en la 24, dan en mayor escala y en un plano horizontal que pasa por la superficie del mercurio, la dirección de las corrientes que imprimen la rotación. En la figura 25 como el polo austral se halla arriba, las corrientes de Ampére en torno de la barra marchan en sentido contrario de las agujas de un reloj en el de la flacha *i*, en tanto que las que parten del vástago C hacia el anillo metálico G se dirigen por las rectas C D. C E.... Así pues, según los efectos de las corrientes angulares, un elmento cualquiera *e* de la corriente magnética de la barra A es atraído por la corriente C E y rechazado por

la C D; y de aquí, la rotación de la barra en el sentido de las agujas de un reloj en torno de su eje.

En la figura 26 siendo contrarias las corrientes C D, C F á las de la barra A, las rechazan, mientras las corrientes C E, C H, de igual sentido, las atraen. La barra se halla pues arrastrada circularmente en el centido de la flecha *s* en torno del eje vertical que pasa por el vástago C.

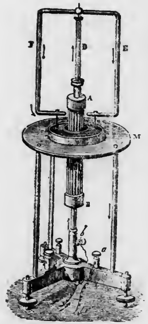


Figura 27.

La acción rotatoria de las corrientes sobre los imanes es recíproca, según se comprueba con este experimento debido también á Faraday. Sobre un pié de tornillos fijos se eleva una columna de cobre *b* D (Fig. 27) aislada por un contacto de marfil, y á lo largo de la cual se alza más ó menos un tubo metálico rodeado de un haz imantado A B; en lo alto de la columna hay una capsulita con mercurio en que entra una punta de acero, en la cual está fijo un circuito E F de cobre, cuyos bordes tienen puntas de acero que penetran en un depósito lleno de mercurio.

Dispuesto así el aparato, se hace llegar la corriente de una pila de 4 ó 5 pares de Bunsen á la columna *b*; de aquí sube á la D, vuelve á bajar por las dos ramas E, F, llega al mercurio por las puntas de acero y se dirige por el tablero que es de cobre, á la columna *a*, de donde torna á la pila. Si se levanta entonces el has imantado, como se ve en el grabado, el circuito móvil E F toma un movimiento de rotación rápido en un sentido ó en otro, conforme esté sometido á la acción del polo austral ó del boreal del imán. Esta rotación consiste en las corrientes circulares de Ampére alrededor de los imanes, corrientes que obran sobre las ramas verticales E, F.



En este experimento se puede sustituir al haz imantado un soler en nóide ó un electroimán; para lo cual dos carretes situados al pié del aparato á la izquierda reciben la corriente que debe recorrer el solenóide ó el electroimán. Así se comprueba que la acción de un solenóide sobre el circuito móvil E F es idéntica á la de un haz imantado, y por tanto el aparato que se acaba de describir puede servir para demostrar la identidad entre los solenoides y los imanes.

Llámase solenoide un sistema de corrientes circulares, iguales y paralelas, formadas por un mismo alambre de cobre recubierto de seda y replegado sobre sí mismo en hélice (Fig. 28). La acción del solenoide en el sentido de su longitud A

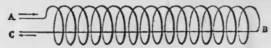



Figura 28.

B está destruida por la corriente rectilínea B C y equivale por tanto rigurosamente el efecto del solenoide al de una serie de corrientes circulares, iguales y paralelas.

Los solenoides son verdaderos imanes: así la Tierra ejerce sobre ellos la misma acción directriz que sobre una barra imantada: en el solenoide existen asimismo los dos polos austral y boreal y entre los solenoides y los imanes se manifiestan los mismos fenómenos de atracción y de repulsión que entre los imanes de donde se deduce su completa analogía.

Finalmente se demuestra por medio de aparatos y experimentos diversos, que no se describen por ser perfectamente conocidos y pueden encontrarse en cualquier tratado de Fí-

sica, que la Tierra ejerce una acción directriz sobre las corrientes eléctricas como sobre los imanes y los solenoides; y asimismo las corrientes eléctricas producen los fenómenos de imantación.

Se recordará solamente que Oersted, en 1820, descubrió el fenómeno de la acción directriz que ejercen las corrientes fijas sobre los imanes móviles. Ampére y Faraday fundándose en ese descubrimiento crearon una nueva parte de la Física conocida con el nombre de electro–magnetismo.

Para hacer dicho experimento se tiende horizontalmente en la dirección del meridiano magnético un alambre de cobre encima de una aguja imantada móvil (Fig. 29). En tanto que no atraviesa al alambre una corriente, permanece paralela á él la aguja; mas apenas sus extremos comunican con los electrodos de una pila, *la aguja se desvía y tiende tanto más en dirección perpendicular á la corriente, cuanto más intensa es ésta.*

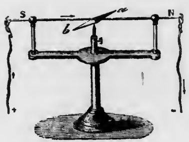


Figura 29.

Se ha demostrado igualmente que la acción directriz de las corrientes sobre los imanes se debe á una acción recíproca entre esas corrientes y las de Ampére que circulan en torno de los imanes.

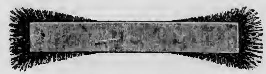
Por medio de la nueva teoría se puede explicar un fenómeno importante de Mecánica Celeste que no tiene explicación en la teoría neutoniana, á saber: el alargamiento diferente de las órbitas de los cuerpos que forman el sistema planetario; y las cuales son, sensiblemente circulares unas, como las órbitas de la Tierra y de Venus, y otras muy alargadas, como las órbitas de los cometas.

La duración de las rotaciones y las excentricidades, dicen los astrónomos, son cosas que no parecen más ó menos



necesarias en la naturaleza que la distribución de los mares y de los continentes en la superficie del globo. Ninguna ley general puede establecerse bajo estas diferentes relaciones; no hay ninguna razón para que los hechos pasen así, como no la hay para que los mares se distribuyan de cierta manera y que los continentes afecten determinada forma. Lo único que hasta hoy ha comprobado la Astronomía es una relación entre el alargamiento de las órbitas y la inclinación de los planos de las mismas. Las elipses más prolongadas, las que recorren Juno, Palas y Mercurio, son también las más inclinadas sobre la eclíptica, aunque en relaciones diferentes. Este hecho no puede, sin embargo, ser una coincidencia fortuita; para explicarlo según el magnetismo bastará recordar la teoría de los imanes estudiando los fenómenos que aquellos presentan.

Los imanes, como se sabe, no presentan en todos sus puntos la misma fuerza magnética. En efecto si se arroya una barra imantada con limadura de hierro, se ve á ésta adherirse abundantemente hacia las extremidades de la barra en forma de penachos erizados (Fig. 30); pero la adherencia de


Figura 30.

la limadura decrece rápidamente á medida que se aleja de las extremidades, hasta la región media de la barra, donde es nula. La parte del imán en que la fuerza magnética es insensible ha recibido el nombre de zona neutra, y los dos puntos vecinos de las extremidades, donde se manifiesta el máximun de fuerza, se llaman polos.

Se denomina *fantasma magnético* á la disposición en

curvas simétricas, que toma la limadura de hierro bajo la influencia de una barra imantada (Fig. 31). Para obtener es-

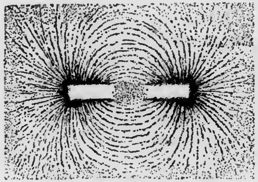


Figura 31.

tas curvas se aplica sobre una barra puesta horizontalmente un cartoncillo que se polvorea con limaduras de hierro pasadas al cedazo. Pegando suavemente en el cartón, sucede que cuando caen las limaduras se van disponiendo bajo la influencia del imán en curvas regulares yendo de un polo al otro, y cambiando luego de dirección en los extremos de la barra. Llama la atención desde luego la forma general y particular de las líneas de fuerza del imán indicadas por la distribución de las limaduras de hierro; esas líneas afectan formas curvas que como las de las órbitas de los cuerpos celestes se aproximan más ó menos, unas veces al círculo y otras á la parábola.

Es asimismo de advertirse que el campo de acción de todas esas fuerzas puede circunscribirse, muy bien, dentro de una elipse que se alarga á medida que el imán también es más grande; y cuyos focos corresponden á los polos del mismo imán. Esta analogía tan marcada entre la distribución de las fuerzas de un imán y las líneas de las órbitas que representan los movimientos de los cuerpos del sistema planetario, es por si sola una presunción en favor de la teoría del magnetismo.



Se van á estudiar ahora los efectos producidos por el cambio de posición del imán–sol, respecto á un punto determinado del espacio.

Sea I S (Fig. 32), el imán–sol; P el punto respecto del

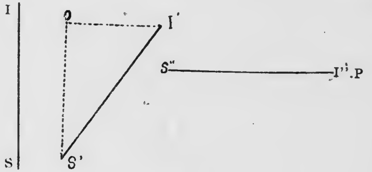



Figura 32.

cual se quiere estudiar el efecto. Supóngase que el imán cambia de posición colocándose según la línea I' S'; el efecto por lo que ve al punto P equivale á que el imán sea ahora más corto, aproximándose sus polos y quedando reducido á la línea O S', que es su proyección. En la posición I'' S'' la extensión del imán ha disminuido de tal modo que ha quedado reducido, respecto de P á un punto, cesando el efecto producido por la combinación de las fuerzas magnéticas.

El mismo resultado se obtiene si se supone el imán-sol fijo y que cambie de posición el punto ó cuerpo que se quiera considerar; el efecto es como si se alargara ó se acortara el imán. Ahora bien volviéndose mas grande por ejemplo el imán-sol, no varía la cantidad de fuerza, porque esta depende de la relación de las masas y de la distancia; pero sí varía la distribución de las líneas de la fuerza y especialmente la distancia entre los polos se hace mayor y por ende la zona neutra adquiere también mayor extensión en el espacio. Por otra parte se ha dicho ya que los planos de los diferentes cuer-

pos celestes tienen distintas posiciones entre sí y por lo mismo también distintas posiciones respecto del imán-sol y que existe una relación entre esas posiciones y el alargamiento de las órbitas.

He aquí como se puede explicar la diferente excentricidad de las órbitas.

Sea I S (Fig. 33,) el imán-sol; P y P' los polos ó fo-

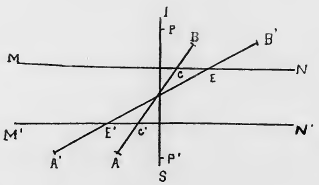



Figura 33.

cos del imán; M N y M' y N', las líneas que limitan la zona neutral; y sea, por último, A B el plano de la órbita de un planeta ó un cometa y A' B' el plano de la órbita de otro planeta ó cometa. A la simple vista se ve que el cuerpo que se supone moverse en la primera órbita atraviesa una parte de la zona neutral c c' notoriamente más corta que la parte E E' que atraviesa el otro cuerpo. Se comprende, según esto, por qué el segundo debe tener una órbita más alargada que el primero, supuesto que durante una gran parte de su ruta se encuentra sustraída á el efecto magnético del Sol, moviéndose solo en virtud de la fuerza tangencial, es decir, siguiendo una línea que se aproxima á la recta.

Por ejemplo, en la órbita de un cometa, (cuerpos celestes que por lo regular se mueven en órbitas muy alarga-



das) la parte C A B (Fig. 34) tiene una forma sensiblemente

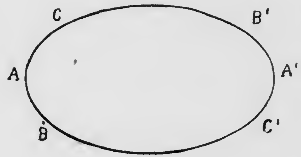



Figura 34.

circular y la marcha del astro en esa parte de su carrera se explica por el mecanismo que muestra el aparato de Faraday. Supóngase que al llegar al punto B, el cometa entra en la zona neutra sustrayéndose al efecto magnético del astro central, mientras el cometa recorra la expresada zona su órbita se alargará. Mas como en virtud del movimiento adquirido por el cometa llega un momento en que sale aquel de la zona neutra que puede suponerse terminada en C', punto del espacio simétricamente colocado respecto á C, en ese mismo punto comienza á manifestarse de nuevo el efecto magnético del Sol, en cuya virtud el cuerpo que se considera describe una curva A' B' C' igual á la posición A B C. Ese mismo movimiento circular hace que el astro retroceda y vuelva á la zona neutra repitiéndose los mismos fenómenos que originan el movimiento en elipse, indefinidamente.

«Bastan tres observaciones, dice Ch. Briot, para determinar completamente la órbita de un planeta ó de un cometa. El cálculo da muy buen resultado, cuando se trata de un planeta ó de un cometa cuya elipse no es muy alargada; pero para los cometas cuya elipse es muy alargada presenta una gran dificultad. No vemos, en efecto, sino la parte de la órbita más vecina del Sol y se comprende que la ob-

servación de un arco tan pequeño no permite determinar con precisión suficiente la parte muy alejada de la órbita; por consiguiente no se puede encontrar exactamente la longitud del gran eje, y por lo mismo, el tiempo de la revolución.

El arco observado es casi el mismo que si el gran eje fuese infinito, es decir que se reemplazara la elipse por una parábola. Esto es lo que se llama calcular la órbita parabólica de un cometa. Es claro que la parábola no representa sino aproximadamente la ruta del cometa, en la vecindad del Sol. Los elementos parabólicos de un cometa son cuatro, á saber: 1º la longitud del nodo ascendente; 2º la inclinación; 3º la longitud del perihelio; 4º la distancia del Sol al perihelio.

Newton encontró bien pronto ocasión de aplicar su método; en 1680 apareció un cometa; se le vió por primera vez el 14 de Noviembre; se aproximó muy rápidamente al Sol y se sumergió en sus rayos el 5 de Diciembre. Diecisiete días después, el 22 de Diciembre, se vió salir de los rayos del Sol uno de los más grandes y magníficos cometas de que se haya conservado recuerdo. Newton demostró que los dos arcos observados, separados por un intervalo de diecisiete días, pertenecían sensiblemente á la misma parábola, es decir á la misma elipse extremadamente alargada. Este cometa había pasado muy cerca del Sol, á una distancia de su superficie igual á la sexta parte del diámetro de ese astro. El movimiento del cometa en la vecindad del perihelio, era extremadamente rápido, según la ley de las areas, por la pequeñez del radio vector; se aceleraba á medida que el cometa se aproximaba al Sol, y se retarda al contrario á medida que se aleja. ¿Pero cómo determinar la elipse entera, y, por consiguiente predecir la vuelta del cometa? Es preciso, dice Newton, calcular las órbitas, ó las porciones de órbitas, para todos los cometas observados hasta el presente, y, cuando aparezca un cometa nuevo, calcular su órbita, y compararla



con las órbitas ya calculadas. Si se ve que el cometa nuevo sigue aproximadamente la misma ruta que alguno de los cometas ya observados, es probable que sea el mismo cometa que vuelve. El intervalo entre las dos apariciones da el tiempo de la revolución; y, por la tercera ley de Kepler, se puede deducir la longitud del eje mayor. De esta manera la elipse entera será conocida, y será facil seguir con el pensamiento el cometa en toda su ruta y predecir su vuelta.» [Cours de Cosmographie par Ch. Briot pág. 198.]

De lo expuesto se deduce que según la teoría neutoniana, no es posible, con ayuda del cálculo solamente, llegar á determinar las órbitas de los cuerpos celestes; y que los astrónomos recurren á otros medios, como son las observaciones sucesivas y la aplicación de las leyes de Kepler que se fundan también en hechos observados. No podría ser de otra manera toda vez que para calcular las órbitas según la teoría de Newton existe un dato conocido y determinado ó determinable, la atracción; pero hay otro elemento desconocido é indeterminado, la fuerza que en combinación con la gravedad origina los movimientos de los cuerpos celestes, fuerza que Newton supone sea el impulso ó velocidad primitiva de los astros.

Siguiendo la nueva teoría, para recoger todos los datos necesarios á fin de determinar por el cálculo las órbitas de los astros, es necesario tener presente otras consideraciones. La forma general de las órbitas se determina en parte por la distancia del planeta ó cometa al Sol; toda vez que si se supone, por ejemplo, que dos ó más planetas ó cometas se muevan en un solo plano, pero á diferentes distancias del cuerpo central, por este solo hecho las órbitas resultan diferentes; porque es preciso distinguir lo largo de la órbita que se mide por el eje mayor de la elipse del alargamiento de la misma órbita que resulta de la relación entre los dos ejes. La forma de una elipse se determina por la longitud del eje mayor y la distancia de los dos focos. Debe tenerse presen-

te por último, que según la teoría del magnetismo las acciones entre los diferentes cuerpos son mutuas y por consiguiente, determinada la distribución de la fuerza magnética del Sol, será preciso todavía, al estudiar el movimiento de los cuerpos celestes, conocer la distribución del magnetismo en cada uno de esos cuerpos. Así pues la nueva teoría da cuenta del movimiento de los cuerpos celestes mejor que la teoría de la gravitación universal, cuyos cálculos no se impugnan y la cual en parte es verdadera. Tiene en su favor la teoría del magnetismo que se puede comprobar con diferentes experimentos del gabinete y especialmente con los aparatos de Faraday. Explica además fenómenos que la antigua teoría no puede explicar como son los del alargamiento diferente de las órbitas planetarias y cometarias. Por estas razones se ve que la nueva teoría es superior á la antigua debiendo darle la preferencia como se prefiere la teoría de Copérnico á la de Tolomeo por ser más sencilla y explicar todas las apariencias astronómicas y como se prefiere, en Optica, la teoría de las ondulaciones á la de la emisión, porque hay fenómenos que con la última no se pueden explicar; tal es el fenómeno de las interferencias luminosas en el cual las ondas se destruyen al partir de un orígen común dando por resultado que la luz agregada á la luz produce oscuridad.

Las leyes que rigen los movimientos de los cuerpos celestes, que hasta hoy han sido admitidas como meros hechos y que fueron formuladas por el ilustre Kepler, cuyo nombre llevan, encuentran su demostración en la teoría del magnetismo. Ya se ha visto que la forma elíptica de las órbitas de los planetas que prescribe la primera ley de Kepler, se explica suponiendo en el Sol dos centros de fuerza como los que presentan los imanes.

La segunda ley de Kepler está asimismo de acuerdo con los principios de la teoría nueva. Esa ley citada ya en otra parte se enuncia también así: *Todo planeta se mueve al*



*rededor del Sol con tal velocidad en cada punto, que una línea recta trazada desde él al Sol pasa por áreas iguales en tiempos iguales.* La Tierra, por ejemplo, debería moverse con la velocidad de unas dieciocho millas por segundo para efectuar su revolución completa alrededor del Sol en el trascurso de 365 dias. Mas la velocidad de los planetas no es uniforme estando sujeta á variaciones constantes y periódicas. Cuando un planeta está situado en la parte de su paso que mas dista del Sol, la velocidad tiene un valor ínfimo; á medida que el planeta se aproxima al cuerpo central su marcha se acelera, alcanzando la velocidad su máximun cuando el astro está más cerca del Sol. Así es que se distinguen tres velocidades: mayor, menor y media.

La figura 35 representa una órbita planetaria con el

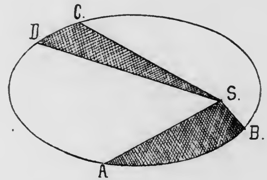


Figura 35.

Sol en el foco S. Tomando dos porciones A B y C D, de la elipse, de acuerdo con la segunda ley de Kepler, si las dos partes sombreadas A B S y D C S tienen la misma área, los tiempos empleados por el planeta en recorrer las porciones de la elipse A B y C D serán iguales. Si una área es mayor que la otra, el tiempo será mayor en proporción de las áreas. Así para que un planeta recorra una área determinada cuando se halla próximo al Sol, evidentemente es necesario un arco más

grande que en otras partes del paso, mientras que en el lado opuesto al Sol basta un arco pequeño para una área considerable, y la velocidad por lo tanto disminuye.

Esta ley se explica igualmente conforme á la nueva teoría por el aumento ó disminución que experimenta la intensidad magnética solar con la distancia.

El movimiento de los planetas y cometas puede decirse que se debe á la atracción, mientras que la repulsión tiene un doble efecto, á saber: impedir que la velocidad se acelere y que se aproxime constantemente el astro al cuerpo central.

| | Tiempo de las revoluciones | | Semi-ejes | Excentrici- | Inclinaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| | En dias medios | En años siderales | mayores | dades | |
| Mercurio..... | 87,969 | 0.382 | 0,38710 | 0,205605 | 7° 0' 8'' |
| Venus........ | 224,701 | 0,615 | 0,72333 | 0,006843 | 3 23 35 |
| La Tierra..... | 365,256 | 1 | 1 | 0,016770 | 0 |
| Marte........ | 686,980 | 1,881 | 1,52369 | 0,093261 | 1 51 2 |
| Júpiter ....... | 4332,585 | 11,862 | 5,20280 | 0,048239 | 1 18 40 |
| Saturno ...... | 10759,220 | 29,457 | 9,53885 | 0,055996 | 2 29 28 |
| Urano........ | 30686,821 | 84,015 | 19,18264 | 0,046578 | 0 46 30 |
| Neptuno...... | 60126,72 | 164,616 | 30,03997 | 0,008719 | 1 46 59 |

PLANETAS TELESCOPICOS ENTRE MARTE Y JUPITER.

| | Tiempos de las revoluciones en días medios | Semi-ejes mayores | Excentri-cidades | Inclinacio-nes |
|---|---|---|---|---|
| Flore............. | 1195,281 | 2,20172 | 0,157 | 5° 53' |
| Ariane............ | 1194,998 | 2,20384 | 0,168 | 3 28 |
| Feronia........... | 1245,976 | 2,26608 | 0,120 | 5 24 |
| Harmonia.......... | 1247,333 | 2,26772 | 0,046 | 4 16 |
| Melpoméne......... | 1270,432 | 2,29564 | 0,218 | 10 9 |
| Sapho ............ | 1271,641 | 2,29709 | 0,200 | 8 36 |
| Victoria.......... | 1301,419 | 2,33281 | 0,219 | 8 23 |
| Euterpe........... | 1313,566 | 2,34730 | 0,173 | 1 36 |



| | Tiempo de las revoluciones en dia medios | Semi-ejes mayores | Excentri-cidades | Inclinacio-nes |
|---|---|---|---|---|
| Clio .............. | 1334,237 | 2,36000 | 0,235 | 9° 24' |
| Vesta ............. | 1324,767 | 2,36063 | 0,090 | 7 8 |
| Uranie............. | 1328,945 | 2,36559 | 0,126 | 2 6 |
| Nemausa........... | 1329,667 | 2,36645 | 0,066 | 2 57 |
| Iris............... | 1346,371 | 2,38622 | 0,231 | 5 28 |
| Métis ............. | 1346,727 | 2,38665 | 0,123 | 5 36 |
| Echo .............. | 1352,006 | 2,39288 | 0,185 | 3 34 |
| Ausonia ........... | 1355,639 | 2,39716 | 0,127 | 5 45 |
| Phocea ............ | 1358,948 | 2,40106 | 0,253 | 21 36 |
| Nassalia .......... | 1365,949 | 2,40930 | 0,144 | 0 41 |
| Aria .............. | 1375,823 | 2,42090 | 0,184 | 6 0 |
| Nysa .............. | 1377,979 | 2,42343 | 0,150 | 3 42 |
| Hébé .............. | 1379,635 | 2,42537 | 0.202 | 14 47 |
| Béatrix ........... | 1382,525 | 2,42877 | 0,084 | 5 2 |
| Lutetia ........... | 1388,236 | 2,43544 | 0,162 | 3 5 |
| Isis............... | 1392,137 | 2,44000 | 0,209 | 8 34 |
| Fortuna............ | 1393,301 | 2,44136 | 0.158 | 1 32 |
| Eurynome .......... | 1394,852 | 2,44317 | 0.195 | 4 37 |
| Parthénope......... | 1402,106 | 2,45163 | 0,100 | 4 37 |
| Thétis ............ | 1420,130 | 2,47260 | 0,127 | 5 35 |
| Hestia.,........... | 1470,161 | 2,53033 | 0,166 | 2 18 |
| Amphitrite ........ | 1491,591 | 2,55487 | 0,072 | 6 8 |
| Égérie............. | 1510,893 | 2,57686 | 0,089 | 16 32 |
| Astrée ............ | 1511,369 | 2,57740 | 0,189 | 5 19 |
| Iréne ............. | 1518,287 | 2,58527 | 0.169 | 9 7 |
| Pomone............. | 1519,643 | 2,58680 | 0,082 | 5 29 |
| Melete ............ | 1529,217 | 2,59765 | 0,237 | 8 2 |
| Calipso............ | 1548,832 | 2,61982 | 0,202 | 5 7 |
| Diane.............. | 1552,224 | 2,62364 | 0,204 | 8 38 |
| Thalie ............ | 1555,467 | 2,62729 | 0,232 | 10 13 |
| Panope............. | 1547,085 | 2,62911 | 0,195 | 11 32 |
| Fides ............. | 1568,875 | 2,64237 | 0.175 | 3 7 |
| Eunomia............ | 1570,042 | 2,64368 | 0,187 | 11 44 |
| Virginia .......... | 1576,562 | 2,65099 | 0,287 | 2 48 |
| Maia............... | 1576,791 | 2,65125 | 0,158 | 3 4 |
| Proserpine ........ | 1581,093 | 2,65607 | 0,087 | 3 36 |
| Clytie ............ | 1590,487 | 2,66658 | 0,043 | 2 25 |
| Junon ............. | 1592,304 | 2,66861 | 0,257 | 13 3 |
| Eurydice........... | 1594,293 | 2,67083 | 0,307 | 5 0 |
| Frigga............. | 1595,269 | 2,67192 | 0,136 | 2 28 |
| Angelina........... | 1602,965 | 2,68051 | 0,129 | 1 20 |

| | Tiempo de las revoluciones en días medios | Semi-ejes mayores | Excentri-cidades | Inclinacio-nes |
|---|---|---|---|---|
| Circé | 1608,226 | 2,68637 | 0,107 | 5º 26' |
| Concordia | 1619,865 | 2,69932 | 0,042 | 5 2 |
| Alexandra | 1628,850 | 2,70933 | 0,199 | 11 47 |
| Olimpia | 1633,270 | 2,71419 | 0.117 | 8 38 |
| Eugenia | 1638,986 | 2,72052 | 0,082 | 6 35 |
| Léda | 1656,604 | 2,73998 | 0,156 | 6 58 |
| Atalante | 1661,586 | 2,74547 | 0,301 | 18 42 |
| Alcméne | 1669,977 | 2,75471 | 0,223 | 2 51 |
| Niobé | 1671,299 | 2,75616 | 0,174 | 23 18 |
| Pandore | 1675,945 | 2,75907 | 0,145 | 7 14 |
| Cérés | 1680,751 | 2,76654 | 0,080 | 10 36 |
| Dalphné | 1681,535 | 2,76740 | 0,270 | 16 6 |
| Pallas | 1683,523 | 2,76958 | 0,239 | 34 43 |
| Lætitia | 1684,447 | 2,77059 | 0,111 | 10 21 |
| Bellone | 1688,546 | 2,77509 | 0,155 | 9 23 |
| Galatée | 1691,676 | 2,77852 | 0,238 | 3 58 |
| Leto | 1693,400 | 2,78040 | 0.188 | 7 58 |
| Terpsichore | 1757,775 | 2,85043 | 0,210 | 7 55 |
| Polymnie | 1770,623 | 2,86430 | 0 9 | 1 56 |
| Aglaé | 1788,379 | 2,88342 | 0,131 | 5 0 |
| Galliope | 1812,275 | 2,90905 | 0,104 | 13 44 |
| Psyché | 1825,973 | 2,92369 | 0,135 | 3 4 |
| Hesperia | 1871,126 | 2,97119 | 0,174 | 8 28 |
| Danaé | 1883,495 | 2,98546 | 0,162 | 18 15 |
| Leucothée | 1906,287 | 3,00880 | 0,215 | 8 11 |
| Palés | 1976,746 | 3,08249 | 0,237 | 3 9 |
| Europe | 1993,498 | 3,09988 | 0,101 | 7 25 |
| Doris | 2002,686 | 3,10940 | 0,077 | 6 29 |
| Erato | 2023,443 | 3,13085 | 0,171 | 2 12 |
| Thémis | 2033,839 | 3,14156 | 0,125 | 0 49 |
| Hygie | 2043,386 | 3,15139 | 0,101 | 3 47 |
| Euphrosine | 2044,673 | 3,15271 | 0,220 | 26 27 |
| Mnémosyne | 2049,128 | 3,15729 | 0,104 | 15 8 |
| Freia | 2249,128 | 3,38642 | 0,187 | 2 2 |
| Maximiliana | 2309,978 | 3,41985 | 0,120 | 3 58 |



## CAPITULO IX.

**El estudio de las caudas de los cometas ha revelado la fuerza repulsiva del Sol. - La nueva teoría y el principio de la unidad de las fuerzas físicas.**

Los astrónomos, sin quererlo, al estudiar los movimientos que se observan en las caudas de los cometas, han descubierto la fuerza repulsiva del Sol. Dicha fuerza se manifiesta muy claramente en tales astros, porque su masa formada de una sustancia gaseosa ofrece una gran movilidad. Efectivamente los cometas, según han comprobado los sabios, están formados de capas concéntricas de vapores alternativamente densos y raros que rodean el núcleo. Y una circunstancia importante observada desde hace largo tiempo es que la cauda de los cometas se dirige siempre hacia el lado opuesto del Sol. «Se creería, dice Briot, que un soplo que parte de este astro repele los vapores ligeros que forman la cabellera, y los rechaza, al lado opuesto á aquel de donde parte el soplo repulsivo, de manera de formar esa larga cadena de vapores que llamamos cauda del cometa.» (Cours de Cosmographie, Ch. Briot, pag. 204.) Las colas de los cometas, según la expresión de Séneca, huyen delante del Sol.

He aquí lo que Roberto Stawell Ball, dice acerca de las caudas de los cometas en lo que se refiere á la fuerza repulsiva del Sol: «Si hemos de conseguir dar alguna explicación sobre las colas de los cometas, es preciso averiguar antes qué caracteres, si existen, presentan aquellas en común, y veremos que hay una ley muy notable á que todos obedecen; ley tan verdadera y satisfactoria que, conocido el lugar de un

cometa en el cielo, es posible indicar en qué dirección se hallará la cola.

En el cielo del N. aparece en verano un cometa magnífico: es cerca de media noche. Contemplamos la cola, debilmente luminosa, que está derecha y apunta hacia el zenit. Tal vez se encorve poco ó mucho, pero en su conjunto dirígese desde el horizonte al zenit. No nos referimos aquí á ningún cometa en particular: grandes ó pequeños, todos los que aparecen en el N. deben tener á media noche su cola en dirección casi vertical; y este hecho, que se ha comprobado en numerosas ocasiones, demuestra notablemente la ley que rige en la dirección de la cola de los cometas. Reflexiónese un momento sobre las condiciones del caso: es verano: el crepúsculo en el N. demuestra la posición del Sol, y la cola del cometa apunta directamente fuera del crepúsculo y del Sol. Tómese otro ejemplo: es de noche: el Sol se ha puesto ya, las estrellas comienzan á brillar, y se ve un cometa de larga cola. Bien esté alto ó bajo, al N. ó al S., al E. ó al O., su cola apunta invariablemente desde aquel punto del O. en que desaparece ya la luz del Sol. Supongamos ahora que se observa un cometa á primera hora de la mañana: si la vista se aparta del sitio en que aparece la primera luz del alba á la cabeza del cometa, su cola se hallará á lo largo de aquella dirección, alejándose del Sol. Esta ley es de aplicación más general aún. En cualquiera estación, y á cualquiera hora de la noche, la cola del cometa debe dirigirse fuera del Sol. Este se halla, por supuesto, en algún punto del hemisferio bajo nuestros pies. Trácese un gran círculo desde el astro, pasando más arriba del horizonte hasta la cabeza del cometa, y entonces la dirección de la cola de éste seguirá la continuación de ese círculo.

Desde los primeros tiempos debió llamar la atención de los que estudiaban los movimientos de los cuerpos celestes esa circunstancia en el de los cometas, tanto más cuanto que es



un hecho patente para la observación ordinaria, sin depender de la investigación telescópica ni ser tampoco resultado de ninguna laboriosa discusión matemática. Es el hecho que comunica cierto grado de consistencia á los infinitos fenómenos de los cometas, y debe servir de base de nuestras investigaciones en la estructura de las colas».

En seguida explica Stawell, por medio de un diagrama, las diferentes posiciones que toma la cola de un cometa con relación al Sol, y continúa su exposición en estos términos:

«A primera vista podría creerse que, como el cometa se precipita con tan enorme velocidad, la cola es arrastrada, á manera de la lluvia de chispas que van cayendo de un cohete á medida que cruza los aires; pero esta analogía sería errónea. El cometa no se mueve á través de una atmósfera, sino en el espacio abierto, donde no hay bastante medio ambiente para hacer seguir á la cola la dirección del movimiento. Otro detalle muy curioso es el gradual desarrollo de dicho apéndice á medida que el cometa se aproxima al Sol. Mientras que el cuerpo se halla todavía á gran distancia, por lo regular no tiene cola perceptible; pero cuando se acerca, la cola se extiende poco á poco, y en algunos casos alcanza las más estupendas dimensiones. No se debe suponer que este aumento sea una mera consecuencia óptica resultante del hecho de acercarse más el cuerpo á la Tierra, pues se podría demostrar que ese aumento es enormemente mayor de lo que es posible explicar solamente por la proximación del cometa. Hé aquí por qué debe relacionarse la formación de la cola con la circunstancia de acercarse el cuerpo al Sol, hallándonos, de consiguiente, ante un enigma que tiene poca analogía entre los demás cuerpos de nuestro sistema.

No se puede dudar que el cometa, en su conjunto, es atraído por el Sol. La circunstancia de moverse en un elipse ó en una parábola, demuestra que ambos cuerpos obran y reaccionan uno sobre otro, obedeciendo á la ley de la grave-

dad universal; pero siendo esto verdad en cuanto al cometa en su conjunto, no es menos cierto que su cola es *repelida* por el Sol. No podemos decir con seguridad cómo sucede así; pero los hechos parecen indicar la siguiente explicación.

En los materiales que componen un cometa tenemos uno ó más ingredientes que dan lugar á la formación de la cola, y á medida que este cuerpo se acerca al Sol y experimenta el poderoso efecto de un calor cada vez más fuerte, esos ingredientes se funden y diseminan convertidos en vapor. Parecería que, si bien esas sustancias son atraídas en su estado sólido por el astro luminoso, al reducirse á un vapor muy rarificado, el calórico del Sol ejerce sobre él una fuerza repelente que, venciendo del todo la atracción, rechaza el vapor lejos del astro. De este modo debemos considerar la cola como una corriente de humo ó de vapor que se desvanece muy pronto y se renueva de contínuo por la evaporación de nuevos materiales mientras el cometa se mantiene bastante cerca del Sol. Así se explicaría de una manera verosímil la dirección de la cola; y, á decir verdad, parece imposible creer que aquella pudiese girar alrededor del Sol con suficiente rapidez si fuera realmente un objeto contínuo.

En cuanto á la naturaleza de la fuerza repulsiva de que hemos hablado, no podemos decir nada con toda seguridad; pero es imposible no citar aquí algunas notables investigaciones del profesor Bredichin, que, juntamente con las de Mr. Osborne Reynolds y otros autores, nos ofrecen una explicación probable del fenómeno. Mr. Bredichin hizo su estudio filosóficamente, de ese modo que ha conducido ya á todos los grandes descubrimientos científicos. Después de tomar cuidadosamente sus medidas y de sacar los necesarios dibujos de las colas de varios cometas, obtuvo de esta primera parte de su investigación un resultado cuyo valor no podía disminuir por las observaciones ulteriores. En el exámen de las colas de los diversos cometas se nota que las formas cur-



vilíneas de los contornos vienen á corresponder á uno ú otro de tres tipos especiales. En el primero tenemos las colas más rectas; en el siguiente se comprenden aquellas que, alejándose del Sol, se encurvan por atrás en la dirección en que el cometa se mueve; y al tercer tipo corresponde la cola encorvada más aún hacia el paso del cometa. Se podría demostrar que estas colas se identifican casi invariablemente con uno ú otro de estos tres grupos; y en los casos en que el cometa presente dos colas, como ha sucedido algunas veces, se verá que ambas corresponden también á cualquiera de estos tipos.

En nuestro diagrama (fig. 36) se representa un come-

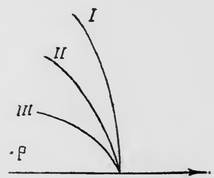



Figura 36.

ta imaginario provisto de colas de las tres especies. La más recta de las tres (tipo I) se debe probablemente al elemento hidrógeno, las del segundo tipo son producidas por la presencia de algunos de los hidrocarburos contenidos en el cuerpo del cometa, y las del tercer tipo resultan tal vez del hierro ó del cloro, ó de algún otro elemento que tenga un elevado peso atómico.

El célebre cometa de 1858, del que ya hemos hablado, nos ofreció una magnífica confirmación de esta teoría. Aquí

vemos, además de la gran cola, que es el caracter distintivo del cometa, otras dos líneas de luz más ligeras, que son realmente los bordes del cono hueco que forma una cola del tipo I. Y cuando miramos á través de las regiones centrales, se comprenderá sin dificultad que la luz no es bastante intensa para que pueda verse; pero en los bordes se mira á través de un regular espesor de materia cometaria, y así se produce el aspecto representado en la figura. Diríase que en el cometa de Donati tenía una cola debida al hidrógeno, y otra resultante de algunos de los compuestos de carbono, los cuales parecen ofrecer mucha variedad, por lo cual hay en las colas del segundo tipo una tendencia á presentar un contorno más indefinido que el de las de hidrógeno. Recuérdanse casos en que se vieron varias colas simultáneamente en el mismo cometa, como, por ejemplo, el que apareció en 1744, uno de los más célebres, conocido ahora con el nombre de *cometa de Cheseaux*. El profesor Bredichin fijó una atención especial en la teoría de este maravilloso objeto, y ha demostrado con muchos visos de probabilidad cómo podría explicarse la cola multiforme.

Posible es someter algunas de estas cuestiones á la comprobación del cálculo, haciendo ver que la fuerza repulsiva necesaria para producir la cola muy recta del tipo I no necesita ser más de dos veces mayor que la atracción de la gravedad.

Las colas del segundo tipo podrían producirse por una fuerza repulsiva que fuera igual á la gravedad, mientras que las del tercero requieren sólo una fuerza repulsiva equivalente á una cuarta parte de la de la gravedad. La mayor fuerza de esta especie que en la Naturaleza conocemos derívase de la electricidad, y naturalmente se ha supuesto que los fenómenos de las colas de los cometas son debidos á la condición eléctrica del Sol y de aquellos. No es difícil demostrar que, cuando las sustancias cometarias son reducidas á vapor por el calor del Sol, la repulsión eléctrica puede igualar y



hasta exceder por mucho á la gravedad, resultando de aquí los fenómenos que se observan. Sería prematuro consignar que el carácter eléctrico de la cola del cometa está del todo demostrado, pues sólo podemos decir que parecen explicarlo así los hechos reconocidos hasta ahora. Se debe recordar, aunque en otro terreno, que el Sol es centro de ciertos fenómenos eléctricos.» (La Historia de los Cielos por Stawell Ball, traducción de Enrique Leopoldo de Verneuil, páginas 225 y siguientes).

Bessel asímismo, habiendo observado el cono luminoso del cometa de Halley que apareció en 1835, dedujo de medidas y consideraciones teóricas que: el cono luminoso se alejaba poco á poco de la dirección del radio vector en una cantidad considerable, pero que volvía siempre á la misma dirección para separarse de ella en seguida en el lado contrario; y por consiguiente, el cono luminoso y el cuerpo del cometa de donde había sido proyectado, debían estar animados de un movimiento de rotación ó de oscilación en el plano de la órbita. Como estas oscilaciones no podían explicarse por la atracción del Sol y denotan la existencia de una fuèrza que pugnase por llevar en dirección del Sol la extremidad de uno de los diámetros del cometa, y por alejar del mismo astro la otra extremidad, Bessel se convenció de la existencia de una fuerza polar absolutamente distinta de toda gravitación, porque la materia que formaba la cola del cometa experimentaba por parte del Sol, una acción repulsiva.

Se citará por último un pasaje de Secchi quien después de explicar por la acción del calor los fenómenos que presentan las caudas de los cometas, agrega:

«No intentamos, sin embargo, explicar todos los accidentes de las formas cometarias; si el principio es cierto, quizá no sea suficiente. Es muy posible, diré más, muy probable, que actué el Sol en estas circunstancias de un modo contínuo; para ejercer realmente una acción repulsiva, nada facil

de explicar, pero que no es única en la naturaleza. Si el Sol obrara á la manera de los imanes, podría, por acción diamagnética, repeler ciertas sustancias; así son repelidos el hidrógeno puro y la llama de una bujía en el campo magnético de un imán poderoso, y sabido es que los cometas contienen compuestos carbonados é hidrogenados, análogos á los que hay en las llamas, que pueden ser evaporados y repelidos por el Sol.» («El Sol», Tomo 2º pág. 435.)

Antes de dar por terminada esta primera parte de la obra, es preciso desvanecer otro argumento en pro de la teoría neutoniana. Newton al sostener que los movimientos de los cuerpos celestes son efecto de una sola y única causa, realizó en Astronomía, el *desideratum* de la ciencia moderna que consiste en relacionar todos los fenómenos de la naturaleza á una causa única.

Así, según el principio de la unidad de las fuerzas físicas, el movimiento mecánico se transforma en movimiento molecular ó recíprocamente; y la electricidad se transforma en calor ó este último en electricidad, etc. admitiendo que las manifestaciones caloríficas, eléctricas, luminosas, etc., no son sino diferentes modos de movimiento.

Los filósofos buscan un primer principio de los conocimientos humanos como buscan un primer Ser orígen de todos los séres. Esta unidad de orígen la han reconocido todas las escuelas filosóficas. Los ateos le llaman fuerza de la naturaleza, los panteistas sustancia única y la Filosofía cristiana refiere á Dios la existencia del Universo y el desarrollo de sus fenómenos. La Lógica enseña que definir ó explicar no es otra cosa que comprender un fenómeno en otro mas general: la combustión se define ó explica diciendo que es una combinación química. Todo fenómeno que no se puede reducir á otro no es explicable. Las nociones últimas no se pueden explicar con palabras y quedan fuera de toda definición. Ahora bien, entre los diferentes ensayos intentados para referir los fenómenos variables del mundo físico á un principio único, aparece como el más comprensivo é importante la teoría de la gravitación universal. A esto se debe, en parte, el caracter de sublimidad y de grandeza y el alcance filosófico y trascendental que parece tener la referida doctrina. Por eso ha sido ensalzada tantas veces por la poesía contemporánea; y si al encanto que tiene para la imaginación se agrega el prestigio de su autor lleno de ideal y de ciencia, se comprende porqué dicha teoría ha sido generalmente adoptada.



Sin embargo, la nueva teoría ó sea la teoría magnética, lleva en sí el germen de la unidad que busca la Ciencia, esto es, por ella puede igualmente reducirse á una causa única ó explicarse por una fuerza única los movimientos de los cuerpos celestes. Esto no lo enseña la Astronomía; pero se deduce de una importante ley de electro-dinámica. Estudiando, en Física, los efectos de las corrientes eléctricas se demuestra, como se ha visto, *que dos corrientes paralelas en el mismo sentido se atraen, y las mismas corrientes paralelas en sentido contrario se rechazan.* Este experimento luminoso al mismo tiempo que establece el primer punto de contacto entre la electricidad y el magnetismo, revela la esencia misma de esas fuerzas. Según el principio mencionado los fenómenos magnéticos ó eléctricos se encuentran comprendidos en esa gran ley de la relatividad que extiende, según parece, su dominio á las mas importantes esferas del mundo físico. La electricidad positiva y la negativa, la fuerza de atracción y la repulsión, el + y el —, no son dos energías distintas, sino la manifestación de una sola y única fuerza: *Todo depende de la dirección relativa de los movimientos.*

# SEGUNDA PARTE

# SEGUNDA PARTE

## FISICA SOLAR.

### CAPITULO I.

**El Sol. - Sus dimensiones. - Manchas solares.**

En el estudio de ese Universo magnífico cuyos límites retroceden á medida que la ciencia ensancha sus horizontes, constituye el Sol uno de los problemas más elevados y que más poderosamente ha llamado, en todo tiempo, la atención de los hombres.

El análisis espectral ha abierto un vasto campo para nuevos descubrimientos, mostrando la naturaleza química de las sustancias que componen la atmósfera solar. Sin embargo hasta hoy la estructura del Sol ha sido un misterio.

Se presenta el Sol, á la simple vista, como un disco que subtiende un ángulo de 32 minutos y 3 segundos, ó sea de medio grado próximamente; y teniendo en cuenta la distancia á que se halla de la Tierra, este pequeño diámetro aparente supone una magnitud tan enorme, que es muy difícil formar de ella una idea siquiera aproximada.

La distancia media del Sol á la Tierra es de 23,150 ra-

dios terrestres, ó sea 148 millones de kilómetros. El diámetro del Sol es 108 veces el del globo terrestre, cosa de 1.377,452 kilómetros, poco menos del doble de la distancia de la Tierra á la Luna; y por lo tanto, su volumen es poco menor que el de otra esfera cuyo diámetro fuese igual á la distancia de la Tierra á su satélite, es 1.259,712 veces mayor que la Tierra.

Un arco de un segundo, observado desde el globo terrestre, en el centro del disco solar equivale á 715 kilómetros, lo que da 429,000 para un arco de un minuto; y sin embargo se observan con frecuencia manchas cuyo diámetro es de un minuto, y resplandores cuya altura llega á tres, ó sea 128,700 kilómetros. Los hilos de araña que se emplean en los micrómetros, en un anteojo de 4, m. 30, cubren en el Sol un espacio de 238 kilómetros. Vista desde el Sol, tendría la Tierra un diámetro aparente de 17,''82; y por tanto, su radio, que es de 6,377 kilómetros, 8'',91: este es el valor de la paralelaje ecuatorial del Sol, que sirve de base fundamental para todos los cálculos astronómicos.

Los antiguos señalaron en algunos casos la existencia de unas manchas negras, que se distinguían á la simple vista cuando el Sol estaba cerca del horizonte; y se las tomó por planetas en conjunción ó por fenómenos de causa desconocida. Los chinos precedieron á los europeos en este descubrimiento. En la obra de Ma-Twan-Lin existe una tabla que contiene 45 observaciones hechas desde el año de 301 al 1205 de la era vulgar. Para dar idea de la magnitud relativa de las manchas, las comparan á un huevo, un dátil ó una ciruela.

Con la ayuda de un vidrio ennegrecido se puede, á la simple vista, observar las manchas mayores. Antes que se conociesen los anteojos, se recibían los rayos solares en la cámara oscura, por un agujerito circular practicado en el ventanillo. Procediendo así, consiguió Juan Fabricio, en Diciembre de 1610, ver una mancha considerable y observar su movimiento de un modo bastante perfecto para inducir de él la rotación solar. (Bien es cierto que estas observaciones no se publicaron hasta bastante después, cuando ya otros observadores sirviéndose de anteojos habían obtenido mejores resultados.)



Aun con anteojos más pequeños es posible observar las manchas del Sol, siempre que sobre el ocular se coloque un vidrio de color subido. De ordinario se presentan como puntos negros y redondos, pero á menudo también se agrupan y dan orígen, por su conjunto, á figuras muy singulares. La parte central es negra y se la designa con los nombres de núcleo ó sombra; el exterior, formado por una media tinta, se llama penumbra. Los contornos de la sombra y penumbra se destacan con limpieza, al menos en el mayor número de casos.

Son en extremo variadas las dimensiones de las manchas: hay unas que parecen puntos negros y se llaman poros; con frecuencia se observan otras que subtienden ángulos de 30 á 40 segundos; pero las grandes son raras y de ordinario resultan de la reunión de varias manchas menores. Así se han visto grupos de esta clase que alcanzaban un diámetro de algunos minutos, y cuya superficie era mayor que la de la Tierra y aun mayor que la de Júpiter.

Sobre los bordes del disco se distinguen unas manchitas blancas, llamadas fáculas. Todas estas manchas cambian de forma y de lugar según ciertas leyes.

En 1618 Galileo mostraba en el jardín Bandini á los literatos de Roma, las manchas del Sol, próximo al horizonte.

Se ha hecho un estudio minucioso del movimiento de las manchas. Estas, generalmente, se presentan en el limbo oriental, atraviesan el disco describiendo una trayectoria oblícua con relación al plano de la eclíptica y al movimiento diurno, y desaparecen á los catorce dias por el borde occidental; y no es raro ver que una mancha, después de haber esta-

do oculta durante igual periodo, reaparece en el borde oriental para comenzar una nueva revolución, y aun en algunos casos llega á verificar una tercera, y aun una cuarta; pero de ordinario la mancha se deforma y disuelve, bien antes de salir del disco, bien durante el tiempo en que permanece oculta.

Cuando aparecen simultáneamente varias manchas sobre el disco solar, se observa que describen trayectorias sensiblemente paralelas, aunque estén situadas en latitudes muy diferentes. De aquí se infiere que no son independientes las unas de las otras, como ocurriría si fuesen satélites, y que se encuentran situadas en la superficie del Sol, que las arrastra en su movimiento de rotación.

Si se señala diariamente sobre el mismo diseño la posición de las manchas, á una hora determinada, se observa que el movimiento aparente crece en velocidad cuando están cerca del centro, y se retarda notablemente hacia el limbo.

Pero este último hecho es solo una apariencia, y depende de que se cree observar un movimiento en un disco, cuando realmente se verifica sobre una esfera, siguiendo un círculo paralelo al ecuador solar; porque al observar, se proyecta el pararelo y con él las posiciones sucesivas de la mancha sobre un plano perpendicular á la visual. Para representar en cierto modo el fenómeno, se traza una semi–circunferencia, dividiéndola en partes iguales, y por cada uno de los puntos de división se baja perpendiculares sobre el diámetro, que quedará dividido en partes más pequeñas hacia los extremos y mayores hacia el centro, siendo sin embargo proyecciones de arcos iguales. Sirviéndose de una construcción semejante mostró Galileo que las manchas no podían ser cuerpos independientes del Sol y separados de su superficie, porque solo el radio del paralelo solar satisfacía al cálculo de la traslación diurna.

Las manchas cambian de forma. Cuando una mancha se aproxima al limbo pierde poco á poco su forma redon-



deada, va haciéndose oval y termina por ser casi lineal. Estos cambios son también aparentes, y se explican del mismo modo que la variación de velocidad en la traslación. Pero este fenómeno prueba también, que las manchas están adheridas á la superficie del Sol; porque la hipótesis contraria obligaría á suponer que eran astros extraordinariamente aplastados, lo que es contrario á cuanto se conoce referente á la forma de los cuerpos celestes. Galileo las comparaba á nubes, y más tarde Scheiner las consideró como cavidades.

A más de estas deformaciones aparentes se verifican otras reales. Con frecuencia cambia la forma de las manchas de un modo notable, no sólo de un dia para otro, sino en el intervalo de algunas horas. Hé aquí un ejemplo tomado de las observaciones hechas por Rutherfurd desde el 19 al 26 de Setiembre de 1870. Se vió primero aparecer una mancha en el borde del disco; veinticuatro horas más tarde, el 20 de Setiembre, parecía más ancha, pero esto no era más que un efecto de perspectiva; el 21 el núcleo se dividió en dos círculos incompletos reunidos entre sí, y la forma general se asemejaba á la de una lemnicasta; á la mañana siguiente los dos círculos casi estaban completos, y uno de ellos atravesado por una banda luminosa; en los dias siguientes las dos partes se separaron más y más; el 24 se subdividieron á su vez, y el 26 se observaron cuatro núcleos principales rodeados de otros más pequeños y menos definidos.

Otras veces, por el contrario, varias manchas se reunen en una sola.

Se observan variaciones anuales en el movimiento apaentre de las manchas; las trayectorias descritas por aquellas varían con las estaciones.

Esto viene á comprobar lo que se dejó establecido en la primera parte de la obra, á saber: que los planetas cambian probablemente de posición respecto al imán–sol, recorriendo diferentes zonas magnéticas del referido astro.

«En el mes de Marzo, dice Secchi al cual se ha seguido en la presente exposición, son elipses muy alargadas, que vuelven su convexidad hacia el Norte y tienen su eje mayor casi paralelo á la eclíptica (fig. 37) B. Desde este tiempo, la

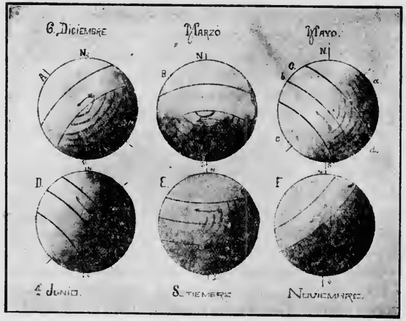



Figura 37.

curvatura de la elipse va disminuyendo constantemente é inclinándose el eje mayor sobre la eclíptica, tal como se vé en C, hasta que en Junio, trasformada casi en línea recta, toma la posición marcada en D; de Junio á Setiembre reaparece la curva elíptica, pero en posición inversa á la precedente, E; después continúa recorriendo las mismas faces, inversas á las descritas, y vuelve á afectar la forma elíptica alargada de la figura F, llegando á constituir en Diciembre la línea recta A, y al cabo del año vuelve á la forma y disposición señalada en B. En este dibujo se han exagerado un poco la curvatura y la inclinación para poner más de manifiesto las variaciones.



Todas estas formas de trayectorias aparentes, no son más que juegos de perspectiva. En realidad las manchas siguen los paralelos al ecuador solar, cuyos paralelos constantemente proyectamos, en las observaciones, sobre un plano perpendicular al rayo visual que parte del ojo del observador pasando por el centro del Sol. Naturalmente estas proyecciones cambian de forma á medida que el observador varía de lugar; así tienen diferente aspecto según ocupa la Tierra posiciones distintas respecto al ecuador solar. Cuando ésta se encuentra en uno de los nodos, ó sea, uno de los puntos en que la eclíptica corta al ecuador solar, todos los paralelos se proyectan según líneas rectas, y las trayectorias de las manchas aparecen por lo tanto rectilíneas. Esto ocurre siempre que la longitud del Sol es de 74° 30', ó 254° 30', ó sea el 4 de Junio y el 6 de Diciembre. Por el contrario, cuando la Tierra está por encima ó por debajo del ecuador solar, las proyecciones de los paralelos, y por lo tanto las trayectorias, son elípticas, y la curvatura es tanto más grande cuanto mayor es la distancia á que nos encontramos del dicho plano. El máximo de curvatura ocurrirá, pues, cuando la longitud solar se diferencie en 90° de los números que hemos indicado al situar los nodos.

Acabamos de examinar la posición de las manchas con relación á la eclíptica; tambien podríamos examinarla con relación al ecuador celeste. Como los planos de estos dos círculos máximos forman ángulos entre sí y con el del ecuador solar, resulta que la línea que representa este último círculo cambia diariamente de dirección de una manera notable. Como siempre se determina la posición de los puntos observados con relación al paralelo del movimiento diurno de la esfera celeste, es conveniente poder determinar en cualquier caso el ángulo formado por este paralelo con el eje mayor de la proyección del ecuador solar. Para facilitar esta averiguación insertamos una tabla en que consta, con la aproxima-

«En el mes de Marzo, dice Secchi al cual se ha seguido en la presente exposición, son elipses muy alargadas, que vuelven su convexidad hacia el Norte y tienen su eje mayor casi paralelo á la eclíptica (fig. 37) B. Desde este tiempo, la

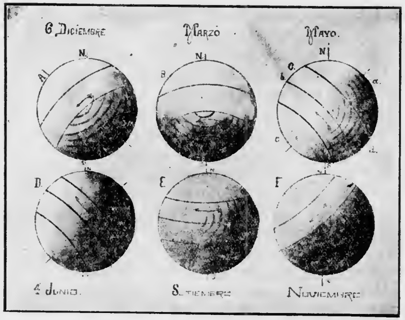



Figura 37.

curvatura de la elipse va disminuyendo constantemente é inclinándose el eje mayor sobre la eclíptica, tal como se vé en C, hasta que en Junio, trasformada casi en línea recta, toma la posición marcada en D; de Junio á Setiembre reaparece la curva elíptica, pero en posición inversa á la precedente, E; después continúa recorriendo las mismas faces, inversas á las descritas, y vuelve á afectar la forma elíptica alargada de la figura F, llegando á constituir en Diciembre la línea recta A, y al cabo del año vuelve á la forma y disposición señalada en B. En este dibujo se han exagerado un poco la curvatura y la inclinación para poner más de manifiesto las variaciones.



Todas estas formas de trayectorias aparentes, no son más que juegos de perspectiva. En realidad las manchas siguen los paralelos al ecuador solar, cuyos paralelos constantemente proyectamos, en las observaciones, sobre un plano perpendicular al rayo visual que parte del ojo del observador pasando por el centro del Sol. Naturalmente estas proyecciones cambian de forma á medida que el observador varía de lugar; así tienen diferente aspecto según ocupa la Tierra posiciones distintas respecto al ecuador solar. Cuando ésta se encuentra en uno de los nodos, ó sea, uno de los puntos en que la eclíptica corta al ecuador solar, todos los paralelos se proyectan según líneas rectas, y las trayectorias de las manchas aparecen por lo tanto rectilíneas. Esto ocurre siempre que la longitud del Sol es de 74° 30', ó 254° 30', ó sea el 4 de Junio y el 6 de Diciembre. Por el contrario, cuando la Tierra está por encima ó por debajo del ecuador solar, las proyecciones de los paralelos, y por lo tanto las trayectorias, son elípticas, y la curvatura es tanto más grande cuanto mayor es la distancia á que nos encontramos del dicho plano. El máximo de curvatura ocurrirá, pues, cuando la longitud solar se diferencie en 90° de los números que hemos indicado al situar los nodos.

Acabamos de examinar la posición de las manchas con relación á la eclíptica; tambien podríamos examinarla con relación al ecuador celeste. Como los planos de estos dos círculos máximos forman ángulos entre sí y con el del ecuador solar, resulta que la línea que representa este último círculo cambia diariamente de dirección de una manera notable. Como siempre se determina la posición de los puntos observados con relación al paralelo del movimiento diurno de la esfera celeste, es conveniente poder determinar en cualquier caso el ángulo formado por este paralelo con el eje mayor de la proyección del ecuador solar. Para facilitar esta averiguación insertamos una tabla en que consta, con la aproxima-

ción necesaria, el valor de este ángulo en cada día del año. El ángulo se encuentra á partir del punto mas boreal del disco solar en dirección al Este; si la imagen fuese invertida, es decir, si se observase directamente con un anteojo astronómico, ó se estudiase una proyección obtenida con un anteojo terrestre ó de Galileo, se deberá contar el ángulo desde el punto que parece corresponder al Sur, en dirección al Oeste.»(1)

(El Sol, Tomo I, pag. 38.)

---

(1) Esta tabla ha sido calculada para el año de 1873; puede, sin embargo, servir para los demás siempre que no se necesite una gran aproximación; el error debido á los años bisiestos no pasa nunca de una fracción de grado bastante pequeña. Esta tabla es suficiente siempre que se trate de construcciones gráficas.

TABLA de los ángulos de posición del Ecuador celeste para el año de 1873. Se cuenta del Norte hacia el Este.

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° ′ | ° ′ | ° ′ | ° ′ | ° ′ | ° ′ |
| 1 | 91.36 | 77.26 | 68.15 | 63.42 | 65.51 | 74.40 |
| 2 | 91.07 | 77.01 | 68.01 | 63.41 | 66.02 | 75.03 |
| 3 | 90.38 | 76.37 | 67.48 | 63.40 | 66.14 | 75.27 |
| 4 | 90.09 | 76.13 | 67.35 | 63.39 | 66.25 | 75.51 |
| 5 | 89.40 | 75.51 | 67.20 | 63.39 | 66.37 | 76.15 |
| 6 | 89.09 | 75.29 | 67.07 | 63.40 | 66.49 | 76.39 |
| 7 | 88.40 | 75.07 | 66.54 | 63.40 | 67.02 | 77.03 |
| 8 | 88.11 | 74.45 | 66.42 | 63.41 | 67.15 | 77.27 |
| 9 | 87.43 | 74.23 | 66.30 | 63.42 | 67.29 | 77.51 |
| 10 | 87.15 | 74.00 | 66.18 | 63.43 | 67.44 | 78.16 |
| 11 | 86.47 | 73.39 | 66.07 | 63.44 | 67.59 | 78.42 |
| 12 | 86.18 | 73.18 | 65.56 | 63.46 | 68.15 | 79.08 |
| 13 | 85.50 | 72.58 | 65.46 | 63.49 | 68,31 | 79.34 |
| 14 | 85.22 | 72.38 | 65.37 | 63.52 | 68.47 | 80.00 |
| 15 | 84.54 | 72.19 | 65.28 | 63.55 | 69.04 | 80.26 |
| 16 | 84.26 | 72.00 | 65.19 | 63.59 | 69.21 | 80.52 |
| 17 | 83.58 | 71.40 | 65.10 | 64.04 | 69.38 | 81.18 |
| 18 | 83.31 | 71.21 | 65.01 | 64.08 | 69.56 | 81.45 |
| 19 | 83.04 | 71.02 | 64.52 | 64.13 | 70,14 | 82.11 |
| 20 | 82.37 | 70.43 | 64.44 | 64.18 | 70.33 | 82.37 |
| 21 | 82.10 | 70.24 | 64.36 | 64.24 | 70.52 | 83.02 |
| 22 | 81.43 | 70.07 | 64.28 | 64.31 | 71.11 | 83.28 |
| 23 | 81.17 | 69.50 | 64.21 | 64.39 | 71.30 | 83.54 |
| 24 | 80.51 | 69.35 | 64.14 | 64.47 | 71.50 | 84.21 |
| 25 | 80.25 | 69.16 | 64.08 | 64.56 | 72.10 | 84.49 |
| 26 | 79.59 | 69.00 | 64.03 | 65.04 | 72.30 | 85.17 |
| 27 | 79.33 | 68.44 | 63.59 | 65.13 | 72.51 | 85.44 |
| 28 | 79.07 | 68.29 | 63.54 | 65.21 | 73.12 | 86.11 |
| 29 | 78.42 | | 63.50 | 65.30 | 73.33 | 86.38 |
| 30 | 78.17 | | 63.47 | 65.40 | 73.55 | 87.06 |
| 31 | 77.52 | | 63.44 | | 74.17 | |



| | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ° ′ | ° ′ | ° ′ | ° ′ | ° ′ | ° ′ |
| 1 | 87.35 | 101.06 | 111.14 | 116.02 | 114.29 | 105.56 |
| 2 | 88.04 | 101.29 | 111.29 | 116.06 | 114.18 | 105.31 |
| 3 | 88.32 | 101.52 | 111.43 | 116.09 | 114.07 | 105.07 |
| 4 | 88.58 | 102.15 | 111.56 | 116.12 | 113.55 | 104.43 |
| 5 | 89.26 | 102.38 | 112.11 | 116.14 | 113.43 | 104.18 |
| 6 | 89.54 | 103.02 | 112.24 | 116.16 | 113.31 | 103.54 |
| 7 | 90.22 | 103.26 | 112.37 | 116.17 | 113.18 | 103.29 |
| 8 | 90.50 | 103.49 | 112.50 | 116.19 | 113.05 | 103.04 |
| 9 | 91.17 | 104.10 | 113.03 | 116.20 | 112.52 | 102.38 |
| 10 | 91.44 | 104.31 | 113.16 | 116.21 | 112.36 | 102.11 |
| 11 | 92.10 | 104.52 | 113.29 | 116.20 | 112.22 | 101.44 |
| 12 | 92.37 | 105.13 | 113.40 | 116.20 | 112.08 | 101.17 |
| 13 | 93.04 | 105.34 | 113.50 | 116.19 | 111.53 | 100.50 |
| 14 | 93.30 | 105.54 | 114.00 | 116.17 | 111.37 | 100.22 |
| 15 | 93.57 | 106.14 | 114.10 | 116.15 | 111.20 | 99.55 |
| 16 | 94.24 | 106.35 | 114.20 | 116.12 | 111.02 | 99.27 |
| 17 | 94.50 | 106.55 | 114.29 | 116.09 | 110.44 | 98.59 |
| 18 | 95.16 | 107.16 | 114.38 | 116.06 | 110.25 | 98.30 |
| 19 | 95.42 | 107.34 | 114.47 | 116.02 | 110.07 | 98.01 |
| 20 | 96.08 | 107.52 | 114.56 | 115.57 | 109.49 | 98.32 |
| 21 | 96.34 | 108.10 | 115.05 | 115.52 | 109.31 | 97.04 |
| 22 | 97.00 | 108.28 | 115.13 | 115.47 | 109.11 | 96.36 |
| 23 | 97.26 | 108.46 | 115.21 | 115.42 | 108.50 | 96.08 |
| 24 | 97.51 | 109.03 | 115.28 | 115.36 | 108.30 | 95.40 |
| 25 | 98.17 | 109.20 | 115.34 | 115.29 | 108.10 | 95.10 |
| 26 | 98.42 | 109.37 | 115.40 | 115.22 | 107.49 | 94.40 |
| 27 | 99.07 | 109.54 | 115.45 | 115.14 | 107.28 | 94.11 |
| 28 | 99.32 | 110.10 | 115.50 | 115.06 | 107.05 | 93.41 |
| 29 | 99.57 | 110.26 | 115.54 | 114.57 | 106.42 | 93.10 |
| 30 | 100.22 | 110.43 | 115.58 | 114.48 | 106.20 | 92.39 |
| 31 | 100.48 | 110.59 | | 114.39 | | 92.08 |

No se presentan las manchas indiferentemente en cualquier punto del disco solar; en las inmediaciones del ecuador y en las latitudes superiores á 35 ó 40 grados son muy raras; en las dos zonas comprendidas entre los 10 y 30 grados de latitud heliocéntrica se manifiestan en gran cantidad.

El número de manchas es muy variable; á veces son tan numerosas que basta una sola observación para reconocer las zonas de producción habitual; en otras, por el contrario, son tan escasas que puede transcurrir un año sin que se observe una sola. Hay notable regularidad en la alternativa de estos dos estados.

Por término medio, las manchas vuelven á ocupar, aparentemente, su primera posición al cabo de veinte y siete días y un tercio aproximadamente; pero esta observación tiene una causa de error que es preciso tener en cuenta, á saber, que mientras la rotación solar se verifica, la Tierra no permanece inmóvil, y describe en su órbita un arco de unos 25° en el sentido mismo de la rotación solar. Por lo tanto, cuando termina la rotación aparente de la mancha, ya hace casi dos días que terminó su revolución y comenzó la segunda. Teniendo en cuenta la corrección que exija este fenómeno, se ha hallado que la revolución solar se verifica en veinte y cinco días y medio aproximadamente.

Wilson mostró que las manchas son cavidades y comparó á una nube poderosamente iluminada la envolvente luminosa que se llama fotoesfera.

Cada mancha se compone de un núcleo y una penumbra; pero tambien hay alrededor de ellas lo que se llama fáculas, que se extienden á veces á largas distancias, y que forman uno de los elementos constitutivos del fenómeno.

Cuando se examina el Sol con un instrumento de amplición poderosa; se observa que su superficie en vez de ser tersa, como parece, se presenta ondulada, habiéndose comparado á la del mar agitado por la tempestad. En algunas ocasiones, sobre todo cerca del limbo y en las inmediaciones de las manchas, se distinguen esparcidas unas masas luminosas que constituyen verdaderas fáculas llegando ciertas veces á ocupar espacios considerables.



El tiempo necesario para la formación de una mancha es variable por demás, y no se ha formulado ley alguna referente á este pnnto: unas veces se forma muy lentamente y por dilatación de los poros; otras aparece casi de súbito. Sin embargo si la observación del Sol es diaria y esmerada, se reconoce que estas formaciones nunca son instantáneas por rápidas que sean. Siempre se anuncia el fenómeno con algunos días de anticipación, observándose en la fotoesfera una gran agitación, manifestada frecuentemente por la presencia de fáculas muy brillantes, que dan origen á uno ó más poros. Otras veces se ven aparecer grupos de puntos negros, como si la capa luminosa se adelgazara poco á poco para dejar al descubierto un núcleo oscuro. Estos poros cambian rápidamente de posición, desaparecen y vuelven á aparecer, hasta que uno de ellos predomina y se convierte en una ancha abertura. En los primeros momentos de la formación no se distingue penumbra alguna claramente definida; poco á poco se va desarrollando y llega á regularizarse conforme la mancha va redondeándose.

## CAPITULO II.

**Diferentes hipótesis acerca de la constitución física del Sol - Su refutación.**

Se han imaginado diferentes hipótesis para explicar la persistencia del calor solar. Todas se basan en el supuesto de que del Sol emana á cada instante una inmensa cantidad de calor; y que, por consiguiente, aquel cuerpo experimenta pérdidas de energía, durante cada segundo. Sin embargo, la temperatura del Sol es constante y se pregunta cuales sean los manantiales de calor que puedan compensar tan enormes pérdidas. Mas adelante se demostrará que el astro central no pierde calor, pero antes se expondrán, las referidas hipótesis:

Dice Secchi sobre una primera hipótesis:

«Para valuar exactamente la diminución de la temperatura solar, sería preciso conocer lo que en el lenguaje de los físicos se llama *capacidad calorífica*, ó á lo menos hacer sobre el asunto una hipótesis plausible. Sabido es, en efecto, que una misma cantidad de calor no calienta á todas las sustancias de igual manera; así, por ejemplo, el calor que eleva un grado la temperatura de un kilógramo de agua, basta para producir una elevación de 9 grados en un kilógramo de hierro. Resulta evidentemente de esta propiedad, que en dos masas de peso igual y naturaleza diferente, la duración del enfriamiento estará en razón directa de sus capacidades caloríficas, suponiendo iguales todas las demás condiciones. Así, pues, en masas iguales, y á partir de la misma temperatura, el hierro se enfriará nueve veces mas pronto que el agua.



No conociendo los materiales constitutivos del Sol, nos es imposible señalar rigurosamente su capacidad calórifica; pero sabemos que está compuesto de hidrógeno y de vapores metálicos. A parte del hidrógeno, cuyo calor específico es igual á 3,41, siendo el del agua la unidad, todos los demás vapores tienen una capacidad inferior 0,5. No podemos, pues, tomar como capacidad media un número mayor que la unidad, y todo lo más que podremos será aceptar ésta como límite superior.

Podemos conocer con bastante exactitud la superficie, masa, volúmen y densidad media del Sol.

La superficie, en metros cuadrados, está representada por el número.

$$6.032,900.000,000.000,000 = 60,329 \times 10^{14}.$$

El volúmen, en metros cúbicos, es

$$1,393.350,000.000,000.000,000.000,000 = 139,335 \times 10^{22}.$$

Tomando como unidad la densidad del agua destilada, la del Sol es 1,42, y su peso, en kilógramos, está representado por

$$M = 1,946.600,000.000,000.000,000,000.000,000 = 19,466 \times 10^{26},$$

ó próximamente dos millones de kilógramos.

Ya hemos visto que, en un minuto, cada metro cuadrado emite una cantidad de calor capaz de elevar 816°,71 la temperatura de un metro cúbico de agua, ó sea 1,000 kilógramos, lo que representa 816,710 calorías. (1) De donde resulta que, durante un año, cada metro cuadrado pierde un número de calorías igual á 429,552.000,000, lo que produce para toda la superficie una cantidad $C = 25,914 \times 10^{26}$.

Suponiendo que la capacidad media de la masa solar sea igual á la del agua, M expresará la calorías perdidas por

(1) En Física, se llama *caloría* á la cantidad de calor necesaria para elevar de cero á un grado centígrado la temperatura de un kilógramo de agua.

el Sol para que su temperatura baje un grado; y siendo C el número de las que pierde anualmente, tendremos la diminución de temperatura en un año dividiendo el segundo por el primero $\frac{C}{L}=1^{\circ},33$ [1]. Si la capacidad calorífica del Sol fuese igual á la del vapor de agua, y por consecuencia, poco mayor que la de los vapores metálicos, el descenso anual de temperatura sería de 2°,8.

Ya hemos dicho que el interior del Sol no puede ser sólido ni oscuro, (afirmación que en esta obra se impugna.) Si lo suponemos incandescente, tal como el hierro fundido, á una temperatura de 2000 á 3000 grados, bastaría para bajar su temperatura á cero un periodo mucho más corto que las épocas históricas mejor conocidas. En efecto, bastan 5000 años para que el descenso de temperatura, debido á la radiación, alcance á 6500 grados, de suerte que, aun suponiendo una temperatura inicial de 10000 grados, habría disminuido

---

(1) Schellen, en la edición alemana de esta obra, ha modificado un poco estos valores, sin que sepamos la causa. Aun teniendo en cuenta las variaciones que experimenta la distancia del Sol á la Tierra, no cambian de un modo esencial los números que acabamos de dar. Según los más recientes trabajos, he aquí los valores que creemos más probables:

Diámetro solar........................................688.584,400 metros.
Superficie del Sol..............................59,582 x $10^{14}$ metros cuadrados.
Volumen del Sol................................136,757 x $10^{22}$ metros cúbicos.
Densidad del Sol...................................1,46 (valor muy incierto.)
Peso del Sol.....................................M=19,962 x $10^{26}$ kilógramos.

Haciendo uso de este último número para nuestro cálculo, hallaremos para diminución anual de temperatura

$$\frac{C}{M}=\frac{25914\times10^{26}}{19962\times10^{26}}=1^{\circ},297,$$

valor muy poco diferente de 1°33 que hemos hallado anteriormente. Schellen adopta 1°,25, pero, lo repetimos otra vez, no sabemos por qué causa ha modificado todas estas cifras, que, por lo demás, son de importancia muy secundaria en la ciencia.



en dos tercios próximamente. Este resultado es absurdo; no es, pues, posible considerar el Sol como una masa simplemente incandescente á una temperatura que no sea en extremo elevada.» (Secchi, El Sol, Tomo 2 pag. 275.)

Supóngase, se ha dicho también, dos esferas de hierro candente, una grande y una pequeña y que ambas tengan el mismo grado de calor al comenzar á enfriarse. Como cuanto mayor sea una de las esferas, más tiempo necesitará para enfriarse, he aquí por qué se ha creído que una esfera de tan enormes dimensiones como es el Sol, una vez calentada se enfriará gradualmente; pero necesitará para ello tanto tiempo que durante miles de años seguirá siendo fuente de luz y de calor para el sistema planetario.

Desde luego sería preciso probar el principio en que tales razonamientos se apoyan, esto es, que el tiempo del enfriamiento varía en razón directa del volumen de los cuerpos, lo cual no es exacto. Si un cuerpo caliente es de más volumen que otro, radiará, si se quiere, más calor; la relación existe entre la cantidad de aquel y el volumen, mas no entre el volumen y el tiempo del enfriamiento. Así una bujía da cierta cantidad de luz y dura cierto tiempo; dos bujías darán doble cantidad de luz en el mismo tiempo; tres bujías darán triple cantidad de luz, en el mismo tiempo; y el Sol equivaldría, si se quiere, á millones de bujías, pero duraría lo que dura una bujía. Otra comparación sería esta: supónganse diez cubos de hierro incandescente de cualesquiera dimensiones, que se enfrían en un tiempo determinado. Si esos cubos se unen de manera de formar, por ejemplo, una barra, no hay razón para creer que fuese necesario, por el solo hecho de estar unidos los diez cubos, un tiempo diez veces mayor para el enfriamiento.

El orígen de la energía calorífica del Sol no puede, por consiguiente, hallarse en el mero enfriamiento de una masa incandescente.

La combustión del Sol tampoco puede explicar el fenómeno que se estudia. Si quisiera admitirse que el Sol no es sino una colosal hoguera, también la aritmética desmentiría semejante hipótesis. Se ha calculado que si el Sol estuviera compuesto de carbón sólido y que se quemara en oxígeno puro, el calor producido bastaría á lo sumo para 6,000 años. De esta manera el Sol que alumbró á los guerreros de la Iliada, se habría ya quemado y reducido á cenizas. Además, la hipótesis de la combustión parte del mismo supuesto falso de que hay relación directa, entre el tiempo necesario para la combustión y el volúmen del cuerpo que se quema.

Por otra parte, es indudable que, durante todo el periodo histórico, la acción del Sol se ha mantenido sensiblemente constante, sin disminuir de un modo apreciable. Los séres vivos, tanto animales como vegetales, que se encuentran en la superficie del globo terrestre, son los mismos desde hace mucho tiempo y las variaciones que hayan experimentado son bien pequeñas. Este hecho es incompatible con un notable descenso de la temperatura solar. Es, pues, imposible admitir que el calor del Sol provenga de una combustión. Según los datos que proporciona la Geología, no ha debido la Tierra recibir del Sol en sus diversos periodos mucho más calor del que recibe actualmente; y aun entre esos periodos se encuentra una época, que se considera misteriosa, el periodo glacial, que sería inexplicable, si debiese admitirse que durante él la temperatura del Sol fué mucho más elevada que lo es hoy día.

En vista de las dificultades expuestas se ha buscado un agente externo que comunique calor al Sol.

Cualquiera que sea la idea que nos formemos del calor y de la luz, dicen los astrónomos, ya consistan, como pensaba Newton, en una multitud de pequeños corpúsculos lanzados por el Sol en todas direcciones, ya consistan, como admiten los físicos modernos, en un movimiento vibratorio, de



todos modos, el Sol se empobrece; pierde en el primer caso, sustancia, en el segundo, movimiento.

Este empobrecimiento del Sol, y el enfriamiento que de él resulta, inquietaba ya á Newton, quien creyó encontrar un remedio á este mal pensando que los cometas después de más ó menos revoluciones caerían al fin en el Sol, y serían como leña arrojada á una hoguera, si bien en seguida abrigó temores suponiendo que el desarrollo de calor podría algunas veces ser de tal intensidad que, al producirse, ardería la Tierra y todos las animales perecerían.

En la época de Newton se atribuía gran masa á los cometas, pero hoy se sabe que los cometas tienen muy pequeñas masas.

Considerando la cantidad de materia cósmica que anualmente caé sobre la Tierra, bajo la forma de aerolitos, ó estrellas fugaces, y la cantidad de calor que puede ser producida por la transformación de su fuerza viva, llegó á pensar el Dr. Mayer si no podría ocurrir un fenómeno análogo en el Sol, y á buscar qué masa debería caer en tales condiciones para compensar la diminución de fuerza viva producida por la radiación. Planteado así el problema y resuelto con ayuda de las nociones ordinarias de la Mecánica se ha sacado por consecuencia que la fuerza viva que adquiriría el Sol si cayera en él un cuerpo como la Tierra sería cien veces más pequeña que la cantidad que se supone recibe diariamente aquel planeta mediante la radiación.

En realidad no puede explicarse con los referidos hechos la constancia de la temperatura solar. Se ha calculado que para esto sería necesario que cayera sobre cada metro cuadrado de la superficie del Sol, aproximadamente, en cada hora, un peso de materia igual á un kilógramo. Se supone que la sustancia tuviera la densidad del agua y resulta que al cabo de un año formaría una capa de diez metros de espesor; aunque esta capa fuese inapreciable visto el Sol desde

la Tierra se revelaría siempre el aumento de masa, por los cálculos astronómicos.

Las consideraciones expuestas bastan para destruir la hipótesis meteórica que hoy día se encuentra abandonada por sus más ardientes partidarios. Esa manera de mantener el calor solar, por otra parte enteramente fortuita, daría una idea poco favorable del astro que es el centro y la vida del sistema, presentándolo bajo la imagen da un padre que devora á sus propios hijos, para alimentarse.

En estos últimos tiempos se ha imaginado otra hipótesis para explicar el origen del calor solar.

Admiten en la actualidad los sabios que el sistema solar puede ser el resultado de la condensación de una nebulosa. Toda cuanta materia constituye hoy día, se dice, el Sol y los planetas, se encontró en otro tiempo en estado de materia cósmica, esparcida en los espacios inmensos que abraza el sistema solar, constituyendo una verdadera nebulosa; tal como las que se ven en varias partes del cielo. Herschel, que estudió las nebulosas, reconoció que presentan diversos estados de condensación; que sus formas son muy diferentes, irregulares, esferóideas, elípticas, anulares; la materia de que están compuestas se halla en completo estado de disociación, y el espectroscopio muestra, en el mayor número de los casos, que son del todo gaseosas. Si la masa entera de nuestro sistema planetario se extendiese solamente hasta la órbita de Neptuno, se presentaría, según se cree, en un estado de rarefacción comparable al que producen las mejores máquinas neumáticas.

Si se supone que semejante masa se condensase precipitándose sobre un punto central, aplicando la teoría de Mayer, el choque recíproco de las moléculas pondría toda la masa en vibración térmica, y desarrollaría en el centro una considerabilísima cantidad de calor. Teniendo en cuenta la masa y el modo modo según el cual pudo estar repartida prime-



ramente á diversas distancia del Sol, se ha creído que la cantidad de calor desarrollado de este modo ha podido elevarse á 240 millones de grados, ó cuando menos, á 28 millones. Así pues la actividad térmica que hoy posee el globo solar no sería, según esta doctrina, sino un pequeño resto de la cantidad enorme debida á la gravitación. Se supone de esta manera que el Sol se sigue contrayendo actualmente, compensándose, en parte con esta contracción la pérdida de fuerza viva que se pierde se dice, por la radiación.

He aquí, como expone la misma teoría el sabio astrónomo real de Irlanda Stawell Ball.

«Ha sido uno de los mayores triunfos de la ciencia moderna resolver el problema, demostrando cómo es que, á pesar de su inmensa irradiación, el Sol conserva todavía su temperatura. La cuestión no deja de ser dificil de explicar; pero el asunto tiene tal importancia que procuraremos hacerlo.

Imaginémonos un vasto globo de gas calentado en el espacio, lo cual no es una suposición del todo gratuita, puesto que hay globos aparentemente de este carácter como son las nebulosas planetarias. Este globo irradiará calor, y supondremos que emite mas del que recibe de la irradiación de otros cuerpos. En su consecuencia perderá poco a poco; pero no sería exacto suponer que su temperatura ha de bajar necesariamente. A decir verdad, á primera vista parece un resultado casi paradójico; pero podemos demostrar muy pronto que es una consecuencia necesaria de las leyes del calor y de los gases.

Fijemos nuestra atención en una parte del gas que hay en la superficie del globo. Este gas, por supuesto, es atraído por todo el recto de la Tierra, y así tiende á acumularse en el centro. Si el equilibrio subsiste, esa tendencia se debe neutralizar por la presión que hay debajo; de modo que cuanto mayor sea la gravedad mas grande será la presión. Cuando el globo gaseoso pierde calórico por irradiación, supónga-

mos que se enfría más y que su temperatura baja en consecuencia. Entonces, puesto que la presión del gas disminuye cuando la temperatura desciende, la presión que hay debajo de la capa superficial de gas decrecerá, sin que la gravedad se altere, resultando inevitablemente que la última se apoderará de la presión y el globo de gas se contraerá. Sin embargo, hay otra manera de considerar el asunto: sabemos que calor es equivalente á energía; de modo que cuando el globo le emite debe gastar parte de aquella. Una porción de la de todo el globo se deberá á su temperatura; pero otra, y por algunos conceptos la más importante, es la que proviene de la separación de sus partículas, Si dejamos que éstas se aproximen ó unan, disminuiremos la energía que resulta de la separación, y la energía libre puede tomar la forma de calor; pero la acumulación de las partículas lleva consigo necesariamente una contracción del globo, y así vemos que, mírese el asunto como se quiera, la irradiación de calor del globo debe ir acompañada de esa contracción.

Y ahora pasemos á la notable consecuencia que parece tener una muy importante aplicación en Astronomia. A medida que el globo se contrae, una parte de su energía de separación se convierte en calor. Este último irradia en parte fuera, pero no tan rápidamente como se produce por la contracción, siendo la consecuencia que, aunque el globo pierde calor realmente y se contrae, su temperatura se eleva. Un simple caso bastará para demostrar este resultado, paradógico á primera vista. Supongamos que por la contracción de la esfera hubiera disminuido una mitad de su diámetro, y fijemos nuestra atención en una pulgada cúbica de la materia gaseosa en cualquier punto de su masa. Después de haberse verificado la contracción, cada lado del cubo se reduciría á media pulgada, y el volumen quedaría limitado, en consecuencia, á una octava parte del total primitivo. La ley de los gases nos dice que, si la temperatura no se altera, la presión varía en razón inversa al volumen, y de consiguiente la presión interna en el cubo aumentará ocho veces. Sin embargo, como la distancia entre cada dos partículas se reduce á una mitad, resultará de aquí que la gravedad entre esas dos partículas aumentará cuatro veces, y como el área se limita también á una cuarta parte, tendremos que la presión dentro del cubo reducido aumenta diez y seis veces; pero ya hemos visto que con una temperatura constante sólo acrece ocho, y por lo tanto ésta debe elevarse con la contracción.



Así obtenemos el resultado algo asombroso de un globo de gas que irradia calor en el espacio, y que, disminuyendo por esto de volumen, adquiere mas elevada temperatura; pero debe añadirse que esto no puede suceder así siempre. ¿Debemos suponer que la masa gaseosa seguirá contrayéndose cada vez más, con una temperatura siempre más ardiente, y que irradiará de continuo mayor calor cuanto más pierde? ¿Dónde estará el límite de semejante procedimiento? A medida que el cuerpo se contrae, su densidad debe aumentar, hasta que se convierta en líquido ó sólido, ó de un modo ú otro deje de obedecer á las leyes del cuerpo puramente gaseoso que hemos supuesto. Y, cuando estas leyes cesen de observarse, el argumento desaparece: la pérdida de calor puede ir entonces realmente acompañada de pérdida de temperatura, hasta que, en el trascurso del tiempo, el cuerpo no tenga ya mas que la del espacio mismo.

No pretendemos que se puede aplicar este razonamiento en su totalidad al presente estado del Sol. La densidad del astro es ahora tan considerable que allí no se pueden observar estrictamente las leyes de los gases; pero hay buenas razones para creer que el Sol fué en algún tiempo más gaseoso que ahora; y es posible que lo fuese lo bastante para que se admita nuestro razonamiento en toda su extensión. Ahora el Sol parece estar en el periodo intermedio de su progreso desde el estado gaseoso al sólido. No podemos decir, por lo

tanto, que la temperatura del Sol aumenta ahora en correspondencia con el procedimiento de contracción. Esto puede ó no ser verdad: carecemos de medios para resolver este punto; pero sí, estamos convencidos de que el Sol se conserva aún bastante gaseoso para experimentar en cierto grado la elevación de la temperatura asociada con la contracción. Es evidente que el enfriamiento del Sol se debe aplazar enormemente si el descenso de temperatura por una causa se compensa casi por su elevación por otra, y apenas se puede dudar que en esto no haya la verdadera explicación del hecho, no teniendo ninguna prueba histórica de cualquiera alteración apreciable en la radiación del calor del Sol.

Esta cuestión tiene tal interés que valdría la pena considerarla aún bajo otro punto de vista. El Sol contiene cierta energía, y parte de ella desaparece continuamente bajo la forma de calórico radiante, mientras que la que se conserva en el astro cambia de carácter, trasformándose una porción en calor, que del todo ó en parte suple la pérdida por radiación. La energía total del Sol, sin embargo, debe estar disminuyendo, y por lo tanto parecería que ha de llegar algún tiempo en que se agote, dejando de ser una fuente de luz y de calor por más que se contraiga con mucha lentitud. No es posible medir con seguridad la disminución en el volumen del Sol, pues resultaría una cifra tan diminuta que la contracción desde el tiempo en que la Astronomía comenzó á ser exacta no sería perceptible con nuestros telescopios. Sin embargo, se puede calcular cuál ha de ser la contracción del astro suponiendo que la energía perdida por aquella basta para suplir la radiación diaria de calor. El cambio es muy pequeño si tenemos en cuenta el actual volumen del Sol: hoy día su diámetro es de unas 860,000 millas, y, si cada año disminuye en unos 220 pies, se gastará suficiente energía para explicar la radiación completa. Esta disminución gradual progresa siempre.



Las observaciones expuestas tienen mucho interés si las aplicamos retrospectivamente. Si es cierto que el Sol se contrae ahora, en los tiempos pasados su globo debió ser mucho más grande que hoy día; y aceptando las cifras dadas, síguese que hace un siglo el diámetro del astro tendría 4 millas más que hoy día; mil hace, su diámetro sería 40 millas mayor, y 400 más grande si nos remontamos diez mil años. Cuando el hombre pisó por primera vez la Tierra, el astro luminoso debía contar muchos centenares, ó tal vez miles, de millas más que en la época presente.

Sin embargo, no debemos exagerar la significación de este aserto. El diámetro del Sol es tan grande que una disminución de 10,000 millas sería poco más que la centésima parte de su diámetro, y, si se contrajera de pronto en esa extensión, el cambio no sería apreciable para la observación ordinaria. No se sigue aquí necesariamente que los climas de la tierra en aquellos primeros tiempos fueran muy diferentes de los que tenemos hoy día, pues la cuestión de clima depende de otras cosas además de los rayos solares.

No es necesario fijar nuestro examen retrospectivo en ninguna época más ó menos lejana. Podemos remontarnos á través de las edades y llegar hasta aquellas primitivas épocas en que la vida comenzó á manifestarse en la Tierra; pero aun así no hallaremos motivos para pensar que no se mantiene la ley sobre la disminución del calor del Sol, y he aquí por qué nuestros presentes conocimientos nos inducen á suponer que el astro es cada vez mayor cuanto más retrocedemos en el pasado. Si el presente estado de cosas en nuestro Universo ha tenido suficiente duración, parecería que hubo un tiempo en que el Sol debió ser dos ó diez veces mayor que ahora, y si pudiéramos retroceder á las primeras edades veríamos el astro dilatarse más y más, con una correspondiente disminución en su densidad, hasta encontrar al fin, en vez del Sol

que ahora conocemos, una poderosa nebulosa llenando una gigantesca región del espacio.

Tal es, en resumen, la doctrina sobre el origen de nuestro sistema que se ha sentado en la llamada *teoría nebular*, y que no puede ser sino una hipótesis, pues no es posible determinarla por la observación ni se puede demostrar por el cálculo. No es sino una conjetura más ó menos plausible aunque tal vez necesariamente verdadera, si las leyes del calor, tal como las comprendemos, admiten la aplicación extrema requerida, y también si el actual orden de cosas ha regido tiempo suficiente sin la intervención de ninguna influencia desconocida de nosotros. La teoría nebular no se limita á la historia de nuestro Sol, y precisamente análogo razonamiento se puede aplicar á los planetas individuales: cuanto más retrocedemos en el pasado, más y más calor se halla en el sistema; y hasta se ha creído que si pudiéramos remontarnos lo bastante encontraríamos la Tierra demasiado calurosa para vivir, y, en una época excesivamente remota, aquella y los planetas candentes, ó caldeados éstos tanto como nuestro Sol ahora. Se cree que en el sistema solar era en el primer periodo una inmensa masa de gas brillante, de la cual se originaron las presentes formas del Sol, de sus planetas y satélites. No podemos estar seguros de que tal haya sido la marcha de las cosas; pero hay motivos para creer que esta doctrina representa lo que ha ocurrido.

Muchos caracteres del sistema solar convienen con la suposición de que el origen del sistema fué el indicado por la teoría nebular, y ya hemos aludido antes al hecho de que todos los planetas efectúan sus revoluciones alrededor del Sol en el mismo sentido. Se ha de observar también que la rotación de los mismos sobre sus ejes, así como los movimientos de los satélites alrededor de sus primarios, siguen todos igual ley, con una ligera excepción en el caso de sistema uraniano. Tan notable coincidencia supone la necesidad de



alguna explicación física, y esta la tenemos en la teoría nebular. Supongamos que en el más remoto periodo una vasta nebulosa, verificando su lenta rotación, se contraía poco á poco. Durante este proceso varias porciones de la materia condensada de la nebulosa quedarían detrás, haciendo aún su revolución alrededor de la masa central, y cada una de ellas efectuaría su rotación sobre su eje en el mismo sentido. A medida que la contracción progresase, la velocidad de aquella aumentaría, según los principios dinámicos, y de este modo aquellas porciones se consolidarían al fin en planetas, mientras que la masa central se contraería gradualmente para formar el Sol. Por un proceso análogo, aunque en menor escala, los sistemas de satélites se originaron de la contracción primaria. Estos satélites harían su revolución en el mismo sentido también, y así podrían explicarse las formas características del sistema solar.

El origen nebular de este sistema se demuestra mucho por el estudio del cielo sideral. Ya hemos hablado de la semejanza entre el Sol y las estrellas, y, de consiguiente, si nuestro Sol ha sufrido los cambios que la teoría nebular requiere, ¿no podríamos suponer que se observarían análogos fenómenos en las demás estrellas? En tal caso es razonable deducir que la evolución de algunas de estas puede no haber progresado tanto como la del Sol, y así tal vez veamos ahora estrellas en las primeras fases de su desarrollo. Sepamos ahora lo que el telescopio nos dice sobre este punto.

El campo visual del instrumento, si es grande, nos permite ver cierto número de estrellas diseminadas en un fondo negro; pero este color no es uniforme, pues el ojo práctico distingue en algunas partes del cielo una luminosidad, visible á veces en toda la extensión del campo, ó en varios de ellos. Tal vez pasen años sin observarse ningún cambio perceptible. No hay ilusión, y de aquí se deduce irresistiblemente que el objeto es una estupenda masa de gas ó vapor un po-

co luminoso. Este es el tipo más simple de la nebulosa, y parece compuesta de la materia más tenue. Por otra parte, á veces se nos presenta el magnífico fenómeno de una estrella definida y brillante circuida de una atmósfera luminosa: entre los dos tipos extremos de una ligera masa difusa y una estrella rodeada de una nebulosa, Herschel creyó que podría haber una serie gradual de otras varias nébulas, y la percepción de esto le condujo á su teoría de la agregación sideral.

A Herschel le parecieron las nebulosas inmensas masas de vapor fosforescente que se enfría poco á poco y condénsase por fin en una estrella ó en un grupo de varias. Cuando se clasificaron las diversas formas de nebulosas, parecía que era dado reconocer los diferentes grados del proceso. En las más vastas y ligeras la condensación comenzaba apenas, en las pequeñas y brillantes hallábase más adelantada, y en las otras eran ya visibles la estrella ó estrellas resultantes de la condensación.

¿Cómo sabía esto Herschel, y cuál era la prueba? Contestaremos con un ejemplo: si se va á un bosque y se ve un añoso roble que ha resistido las tempestades durante siglos, nadie dudará que aquel árbol fué en otro tiempo pequeña planta y que ha crecido gradualmente hasta llegar á la madurez; y, sin embargo, nadie observó los diversos periodos de su crecimiento, porque la corta vida del hombre no basta para esto. Para creer que el roble ha pasado por diversos periodos de crecimiento nos fundamos en el hecho de haber visto muchos de estos árboles de distintas dimensiones, observando su gradación.

Por semejante razonamiento Herschel se explicó el origen de las estrellas que hemos tratado de describir. La vida del astrónomo no es suficiente, y acaso tampoco la de la raza humana, para observar el procedimiento por el cual la nebulosa forma un cuerpo sólido; pero, observando una después de otra, el astrónomo se cree capaz de reconocer los diversos grados que relacionan la nebulosa en su primitiva forma con la que tiene al fin. De este modo ha llegado á creer que cada una de las nébulas pasa, en el transcurso de las edades, por estos periodos, y así Herschel adoptó la opinión de que las estrellas, algunas, muchas ó todas, provienen de lo que fué en un tiempo nébula brillante.



Semejante hipótesis puede cautivar la imaginación, pero debe distinguirse cuidadosamente de las verdades astronómicas. Tal vez la posteridad obtenga evidencias sobre el asunto, inaccesible para nosotros, pues nuestro conocimiento de las nébulas es demasiado reciente, pues su estudio data solamente de 1771, y aun no se ha tenido bastante tiempo para ver cambios apreciables.

Desde el tiempo de Herschel se han hecho, sin duda, cuidadosas observaciones sobre las nébulas; pero el intervalo es aún muy corto y las primeras que se practicaron son demasiado imperfectas. Si las nuestras se conservan, y si la raza humana sobrevive muchos siglos para hacer la comparación, tal vez se confirme satisfactoriamente la teoría de Herschel».—(«La Historia de los Cielos,» traducción de Verneuil, Capítulo XXV páginas 340 y siguientes).

La referida teoría si bien no carece de elevación y de belleza, no es la verdadera. Para probarlo bastarán algunos razonamientos.

Desde luego la hipótesis que se estudia se funda en la suposición de la nebulosa, suposición más ó menos fundada, pero solo una suposición. No se explica además porqué la masa en estado gaseoso, y por consiguiente centro de fuerza molecular repulsiva, se contrajo; y si se dice que esto se debió al enfriamiento, sería afirmar que en tal caso hubo pérdida y no aumento de calor. Que una masa gaseosa que se considere colocada en la superficie de la Tierra sea atraída por ésta, en virtud de la gravedad, es perfectamente admisible; pero si ese gas forma un globo aislado en el espacio, co-

mo se supone sucedió con la nebulosa y si su temperatura es elevada, esto es, si sus partículas tienden á separarse rechazándose mutuamente ¿dónde está la gravedad ó atracción entre esas moléculas? Por una parte debe admitirse, según la referida teoría, que el globo solar no puede ser sólido, porque entonces no podría contraerse libremente ni condensarse lo bastante pronto para producir tan enorme desarrollo de calor; la superficie no tardaría en enfriarse y la vida sería imposible sobre los planetas, solo el estado fluido se presta á la rapidez de movimientos exigida por la teoría. Más por otra parte se sabe que en los gases no hay atracción entre sus moléculas, sino repulsión; y que el Sol no es una masa enteramente gaseosa.

Por el calor se manifiesta pincipalmente una fuerza repulsiva, un cuerpo que pierde calor disminuye de volumen. Es este un principio general, base de varias teorías físicas y principio de diferentes aparatos, por ejemplo, los termómetros. La misma teoría que se analiza se funda en ese principio; si bien en seguida lo desconoce. Admitido esto ¿cómo se puede afirmar que contrayéndose un cuerpo aumente sin embargo su temperatura? Se sabe que á una temperatura H, de un cuerpo determinado, corresponde un volumen V; si el volumen disminuye, es que la temperatura ha bajado en la misma relación. Como el volumen y el estado físico de los cuerpos está en relación con la temperatura, si en un principio la materia cósmica se encontraba en estado gaseoso, no podía ser sino porque su temperatura era propia para conservar ese estado; y sí después la materia se solidificó ó aproximó al estado sólido, es que su temperatura había disminuido. El fenómeno general y reconocido es este: un cuerpo que se enfría disminuye de volumen y cuando el cuerpo se ha contraído es que ya perdió calor; y por consiguiente no es en manera alguna exacto, sino absurdo, que al contraerse un cuerpo aumente *su temperatura*. «Si las partículas del cuerpo se aproximan, se dice, disminuye la energía que resulta de la separación, y esa energía libre puede tomar la forma de calor.» Precisamente se aproximan las partículas porque el calor ha desaparecido en parte; más si se supone que el calor aumenta, por cualquiera causa, aumentará inmediatamente el volumen. Además están de acuerdo los sabios en que aun suponiendo cierta la teoría referida, la contracción debería tener cierto límite pasado el cual el Sol estaría frío, amenazando al sistema una eterna noche.



Finalmente se ha sostenido que otra de las causas de la constancia de la temperatura solar puede encontrarse en las acciones químicas. Bastará decir á este respecto que son las acciones químicas fenómenos cuya esencia íntima se desconoce, pues la ciencia no ha llegado á formular las leyes que los rigen. Por consiguiente se quiere explicar lo *que es obscuro por lo más obscuro*. Además el fenómeno químico más común que podría producir la elevación de la temperatura, sería la combustión y ya se ha visto que la combustión no explica la persistencia del calor solar.

Todas las teorías expuestas son impotentes para resolver la dificultad y no hacen más de aplazar la resolución; porque todas ellas parten del supuesto de que el cuerpo central pierde energía, de donde se deduce que es agotable y por lo mismo imperfecto. Ahora bien, según el conocimiento que se tiene de las cosas, el Sol es un manantial inagotable y la creación es perfectísima. Debe, por consiguiente, tratarse de explicar el verdadero mecanismo del Sol, fundándose en otros principios.

## CAPITULO III.

**El Sol no es tan caliente ni tan luminoso como generalmente se supone. - Sus efectos se deben en gran parte á la atmósfera, que hace las veces de una lente.**

Que el Sol no tiene una temperatura muy elevada se deduce de su densidad misma, que no es la que corresponde á una masa aeriforme; y si bien el cuerpo central está dotado de una envoltura gaseosa, como lo están la Tierra y otros astros, mientras mayor extensión se conceda á esa capa, mayor densidad ó solidez corresponderá al núcleo, puesto que la densidad media del Sol, que es la que se conoce, depende de la relación entre las densidades de la parte gaseosa y de la parte no gaseosa.

Otro argumento puede deducirse de la forma perfectamente esférica del astro central; en efecto, según lo demuestran la razón y la experiencia, una masa gaseosa nunca toma ó conserva dicha forma. La forma esférica puede ser el resultado de la atracción mutua de las moléculas de un cuerpo; y en los gases no se atraén las moléculas, sino que se repelen, de lo cual proviene la tendencia que tienen de ocupar á cada momento mayor volumen. Si el Sol fuese gaseoso su forma y sus dimensiones variarían constantemente; y si bien se ha creído encontrar variaciones en el diámetro de aquel astro, éstas se deben probablemente á las variaciones de las envolventes solares; pues son tan poco sensibles que los astrónomos han atribuido algunas veces esas diferencias á errores accidentales. Se puede decir que la magnitud del diámetro solar es casi en absoluto constante.



Si el Sol estuviese demasiado caliente, según se ha dicho, su masa sería gaseosa ó al menos líquida y á consecuencia del movimiento de rotación que la anima, la esfera se deformaría; la fuerza centrífuga haría sobresalir la masa fundida, en el ecuador, aplanándola hácia los polos. La forma aplanada de la Tierra se explica suponiendo que en algún tiempo se hallaba en estado blando ó de fusión. Por el contrario el Sol parece ser un globo perfecto: las medidas que se han tomado no demuestran que el diámetro polar sea más corto que el ecuatorial y si el movimiento giratorio no ha deformado al globo solar como ha deformado la Tierra y otros planetas, faltan esas huellas para inferir que el cuerpo central se encontró en algun tiempo en estado líquido ó gaseoso y se puede afirmar que actualmente no tiene ese estado.

Sentado que el cuerpo central no tiene una temperatura muy elevada, se demostrará en este capítulo que á la atmósfera se debe en gran parte la intensidad de las manifestaciones caloríficas y luminosas atribuidas al Sol.

Para resolver este problema así como los demás de la Astronomía se requiere abarcar el estudio de las diferentes ramas de la ciencia física.

La Física, en su significación genuina y según la etimología de la palabra, es la ciencia que se ocupa del estudio de la naturaleza en sus diferentes manifestaciones. Pero siendo éstas muy variadas se dividió aquella, para su estudio, en distintas partes, á las que se dieron nombres especiales, reservándose el nombre de Física, á una parte de esas especulaciones, que trata de las propiedades generales de la materia, de la acción que los cuerpos ejercen unos sobre otros sin alterar su naturaleza íntima. Como todos los fenómenos de la naturaleza están íntimamente enlazados, for-

mando una cadena sin solución de continuidad; á fin de darse cuenta de la trama eterna del Universo, será preciso reunir de nuevo relacionándolos entre sí, todos esos conocimientos.

Se da el nombre de atmósfera á la capa de aire que rodea el globo terreste y gira con él en el espacio. Otros cuerpos celestes poseen también atmósfera. Parecería natural, en vista de la fuerza expansiva del aire, que las moléculas atmosféricas debieran difundirse de un modo indefinido por los espacios planetarios; más por efecto mismo de la dilatación disminuye cada vez más aquella fuerza, y si á esto se agrega la baja temperatura de las altas regiones de la atmósfera, viene á suceder que hay un momento en que se establece el equilibrio entre la fuerza expansiva de las moléculas del aire y la acción de la gravedad que las solicita hácia el centro de la Tierra, de donde se infiere que no puede menos de ser limitada la atmósfera.

Atendidos su peso, su decrecimiento de densidad y la observación de los fenómenos crepusculares, se calcula su altura en 70 á 80 kilómetros. Otros sabios le asignan una extensión mayor. Pasado este límite, sigue un aire sumamente enrarecido, y á unos cien kilómetros, ó 340 según otros, el vacío es casi absoluto.

La atmósfera es una verdadera lente, en efecto, se designa con ese nombre *cualquier medio dotado de trasparencia en el cual una de las caras cuando menos es curva*. La atmósfera es un medio, el aire, transparente; se encuentra limitada por caras curvas porque tanto en su parte superior como en la inferior afecta la forma del globo terrestre. Las alturas mayores como son los montes y las cordillerras tienen dimensiones insignificantes en comparación de las dimensiones del planeta: algunas veces han sido dichas alturas comparadas con los rugosidades que presenta la cáscara de una naranja.



Ahora bien, la teoría de las lentes se funda en la propiedad que tienen los rayos caloríficos y luminosos de desviarse cuando pasan oblicuamente de un medio á otro de diferente densidad. La atmósfera que hace las veces de lente, concentra, en ciertos puntos los rayos caloríficos y luminosos del Sol, debiéndose á esa influencia la diferencia de temperaturas en las distintas zonas de la Tierra y aun en las diferentes horas del día. Las lentes tienen la propiedad, atendida la curvatura de sus superficies, de hacer converger ó divergir, según su forma los rayos caloríficos y luminosos que las atraviesan. Por esta razón los físicos distinguen las lentes convergentes de las divergentes. La atmósfera debe considerarse como una lente convergente atendiendo á la dirección que en su interior siguen los rayos solares. Sea *a a* (Fig. 38) la capa atmosférica de un planeta *n*, P, P', P'', P''',

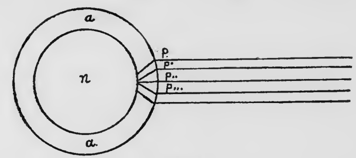



Figura 38.

etc.; los rayos del Sol, que por la gran distancia que media entre los astros, pueden considerarse como paralelos. Según lo enseña la Física hay un punto ó región, que corresponde al eje de la lente, donde los rayos se acumulan, teniendo por consiguiente, mayor intensidad que en los otros puntos. Así se explica que sea más intenso el calor en los lugares cuando tienen el Sol en el zenit y en las zonas terrestres que reciben los rayos según la perpendicular, como sucede en la zona tórrida. Si bien se reflexiona, se ve que la cantidad de

calor, en la Tierra, depende de la altura de la atmósfera, de su estado y de la dirección de los rayos solares; cualesquiera otra circunstancia que se considere, v. gr., que la Tierra se aproxime ó se aleje del Sol, no tiene influencia sensible en el fenómeno.

El poder convergente de la atmósfera es tanto más considerable, cuanto que los rayos que la atraviesan, además de pasar del vacío á un medio denso como es el aire, encuentran en éste una serie de capas superpuestas más y más densas, las cuales aumentan notablemente el poder refringente de la atmósfera. Esa disposición especial de las capas atmosféricas se hace sensible imprimiendo á un anteojo un movimiento de rotación, al observar una estrella; entonces la imagen de la estrella dibuja círculos luminosos coloreados con interrupciones, efecto de la refracción en diferentes capas.

Así un rayo luminoso que venga del Sol penetra en *a* (Fig. 39); experimenta una primera refracción y toma la dirección a b; en b, encuentra una segunda capa de aire más densa, se refracta de nuevo, y toma la dirección b c; y así en seguida.

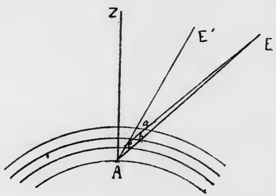


Figura 39.

Las explicaciones anteriores bastan para darse cuenta



de las diferentes temperaturas que se observan en el globo terrestre. Es una ley perfectamente comprobada la de que el calor decrece á medida que la elevación de un lugar aumenta. Entre los paralelos 30° y 71° encontró Humboldt que el calor, en esa región, disminuye un grado cuando la altura aumenta 156 á 170 metros. Las observaciones hechas por el mismo sabio hasta 6,000 metros de altura en la parte de los Andes comprendida entre los trópicos, dieron un grado de diminución por cada 187 metros de aumento en la altura. En la vertiente meridional del Himalaya, el límite de las nieves perpétuas está situado á 3,956 metros de altura.

Si el Sol fuera demasiado caliente cuanto más cerca de él se estuviese, mayor calor se experimentaría. Pero no sucede así: en la cima de las altas montañas se está algunas millas más cerca del Sol; y sin embargo allí, aun en las regiones de la zona tórrida, se encuentran, en vez de más calor, las nieves eternas. Esto se ha querido explicar de diferentes maneras.

Dicen algunos autores que por causa de su gran poder diatérmano las capas superiores de la atmósfera se hallan siempre á baja temperatura; otros aseguran que la atmósfera es como un invernadero que recoge el calor y no lo deja salir fácilmente. Aun cuando así fuese resultaría también demostrado que los efectos del calor y de la luz solares se deben principalmente á la atmósfera, y que el mismo Sol, mediante ella, origina, en ciertas regiones, un calor ardiente y en otras, un frío glacial.

Por lo que se observa en los lugares más elevados donde la acción de la atmósfera es menos sensible, se puede formar una idea justa de la intensidad de la luz y calor solares; fuera de la atmósfera será posible conocer la temperatura real, directa y verdadera del Sol. Es así que en los lugares elevados, en los cuales la capa atmosférica se encuentra muy reducida, la temperatura es de varios grados bajo cero; luego, la

cantidad de calor depende, como se ha dicho, de la existencia ó no existencia de atmósfera, de la altura de ésta y de su composición; y si la Tierra fuese despojada de la capa de aire que la rodea, se vería desde luego cubierta en toda la superficie por hielos eternos: de consiguiente el Sol no calienta tanto como se ha supuesto. Por la simple ausencia de la atmósfera se puede explicar el periodo glacial.

En varios tratados de meteorología se afirma que se debe al poder absorvente de la atmósfera la diferente intensidad de los rayos solares, los cuales cuando atraviesan aquella oblicuamente se debilitan. Que los gases tienen un poder absorvente se demuestra por medio de varios experimentos; más no es esa la causa del fenómeno que se estudia, porque disminuyendo, como disminuye, cuando la altura es menor, la capa atmosférica, la intensidad del Sol se debilita en vez de aumentar ya que la absorción es menor.

Si en la superficie del globo terrestre hay lugares donde el poder calorífico del Sol no tiene gran intensidad, ese poder es todavía menos sensible en los espacios que separan el cuerpo central de los otros cuerpos del sistema. La temperatura de esas regiones se estima por los físicos como en 60 grados centígrados bajo el hielo fundente. En efecto la experiencia y la reflección hacen ver, que reinan la obscuridad y el frío en los espacios interplanetarios. Las tinieblas de la noche y los eclipses solares dan una idea de los espacios celestes, pues, no puede atribuirse la oscuridad de la noche á la sombra proyectada por la Tierra. Dadas la magnitud del sistema solar y las dimensiones relativas del Sol y del globo terrestre, aquel se podría comparar á la llama del quinqué que ilumina un aposento y la Tierra no alcanzaría las dimensiones de un grano de mostaza, siendo insignificante su sombra. En el aposento que se supone, aún teniendo á la espalda el manantial de la luz, toda la pieza se verá iluminada. En los espacios celestes no se observa lo mismo, los cuerpos



que los pueblan se destacan en un fondo completamente oscuro. Durante el día aquellos astros no se ven por impedirlo lo que se ha llamado luz difusa de la atmósfera, pero esa luz en la Tierra así como en los demás planetas, no se extiende más allá de la envoltura gaseosa que los rodea.

Los experimentos en que los físicos se han basado para valuar la cantidad de calor del Sol, no son concluyentes. El P. Secchi se expresa así:

«En el capítulo precedente hemos expresado la temperatura del Sol en grados convencionales; pero para valuar la fuerza viva y la cantidad de energía que reside en este astro, es preciso expresarla en cantidad absoluta de calor, relacionando esta cantidad á una unidad determinada de trabajo térmico. Este trabajo está medido por el calentamiento experimentado en la unidad de tiempo por un cuerpo de peso y capacidad calorífica conocidos. El aparato que se usa fué imaginado por Pouillet, y se compone principalmente de un cilindro de hoja delgada de cobre, una de cuyas bases se cubre de negro de humo; esta base se expone al Sol de modo que reciba perpendicularmente los rayos solares. El cilindro está lleno de agua, y su temperatura se determina mediante un termómetro colocado en el seno del líquido.

Expuesto el aparato al Sol, se anota el aumento de temperatura que experimente en un minuto; y este aumento es el número que ha de servir de punto de partida al cálculo. Debe tenerse en cuenta el vaso y la cantidad de calor que absorva; para esto se multiplica su peso por el calor específico, y el producto se llama el peso del vaso reducido á agua; basta añadir este número al peso del agua sobre que se opera.

Es necesario, además, tener en cuenta una causa de error inevitable. El aparato rádia constantemente y pierde de este modo una cantidad de calor tanto mayor cuanto más alta es su temperatura; el calentamiento producido en un minuto resulta así ser la diferencia entre el calor recibido y el

radiado. Para tener en cuenta esta diferencia, se determina mediante otro experimento, el número de grados que baja la temperatura del cilindro en un tiempo igual al de exposición, cuando está sustraído á la inflencia de los rayes solares; añadiendo este número al obtenido primeramente, se tiene el valor del calentamiento tal como se hubiera encontrado, á no existir la causa de error. Esta compensación no es rigurosamente exacta, pero si se desease obtener mayor exactitud, tiene la ciencia sobrados métodos de corrección para alcanzarla.

Debe, además, efectuarse otra corrección importante para tener en cuenta la cantidad de calor absorvida por nuestra atmósfera en el trayecto de los rayos solares. Hecho esto, y obtenido el resultado, todo está dispuesto para proceder al cálculo.

Este procedimiento es muy sencillo, y aunque contiene varias causas de error, es no obstante el mejor que hasta el día se haya empleado. Ericson, aunque criticándolo, asegura que, mediante compensaciones que no indica, da resultados bastante exactos: con esto basta.

El resultado de los experimentos hechos con el aparato de Pouillet, puede enunciarse de la siguiente manera: un gramo de agua, colocado en el límite superior de nuestra atmósfera, expuesto a la radiación solar, y ofreciendo á la misma una superficie de un centímetro cuadrado, se calienta durante un minuto 1°,763. De aquí puede deducirse la cantidad total de calor que cae sobre el hemisferio terrestre, que es igual a la radiación comprendida en la sección de un cono circunscrito á la Tierra y al Sol; hecha esta sección en la inmediación á la tierra, su área es próximamente la de un círculo máximo, y por lo tanto la cuarta parte de la superficie terrestre. La radiación solar, pues, puede calentar en un minuto $\frac{1°,763}{4}$, ó sea 0°,44.075 una capa extendida uniformemente



sobre la superficie de la tierra, teniendo un centímetro de espesor. En el trascurso de un año se calentaría esta capa 0°,44.075×60×24×365,25=231.855°, suponiendo que no perdiese calor ni por evaporación ni por radiación. Si el espesor de la capa fuese un metro, la temperatura se elevaría en el año á 2.318°,55.

Si quisiéramos representar el calor que recibimos del Sol por el espesor de la capa de hielo que sería capaz de fundir en un tiempo dado, se determinaría dividiendo el número ya encontrado por el calor latente de fusión del hielo; haciéndolo así, se halla que la radiación solar, en el trascurso del año, podría fundir una capa de hielo de 30$^{m}$,89 de espesor, próximamente 31 metros. Las últimas cifras difieren un poco, según los datos adoptados como elementos del cálculo. Así, por ejemplo, Schellen encuentra 29$^{m}$,33; pero no tiene objeto entrar en la discusión de estos números, porque la aproximación obtenida es muy suficiente para el objeto que nos proponemos.

Podemos valuar ya la cantidad de calor emitida por la superficie del Sol, multiplicando el valor precedente por el cuadrado de la distancia del Sol á la Tierra, expresada en rádios del globo solar. Haciéndolo así, vemos que la cantidad de calor es bastante á elevar en un minuto 816°,71 la temperatura de una capa de agua que teniendo un metro de espesor rodease al Sol, ó á fundir un espesor de hielo de 10$^{m}$,7.

La física moderna considera el calor como un movimiento molecular especial, y la actividad térmica como trabajo mecánico. Podemos, pues, partiendo de los principios de la termodinámica, apreciar la radiación solar en unidades mecánicas; vamos á intentar algo más, procurando determinar la causa productora de las radiaciones y de su sensible constancia durante tiempos muy considerables.

Acabamos de ver que el Sol puede, en su superficie, durante un minuto elevar 816°,71 la temperatura de una ca-

pa de agua que tenga un metro de espesor, ó lo que es lo mismo, elevar un grado la temperatura de una capa de 816$^{m}$,71 de grueso. En un segundo el efecto debe ser sesenta veces menor, y por lo tanto, el espesor de la capa calentada un grado sería sólo de 13$^{m}$,61. Debemos suponer igual la actividad en todos los puntos de la superficie, pero, para mayor sencillez, nos limitaremos á examinar lo que ocurre en un metro cuadrado. La capa de agua calentada por esta superficie un grado por segundo pesaría 13,610 kilógramos. Por otra parte, la fuerza que por su trasformación completa en calor sería capaz de elevar un grado la temperatura de un kilógramo de agua, equivale á 424 kilográmetros, siendo un kilográmetro el esfuerzo necesario para elevar un peso de un kilógramo á la altura de un metro. Así, para valuar en kilográmetros la potencia térmica de un metro cuadrado de la superficie solar, es necesario multiplicar á 13,616 por 424, y el producto 5.770,640 expresa el número de kilográmetros buscados; este trabajo equivale al de 76,942 caballos de vapor, siendo el caballo de vapor la fuerza capaz de producir en un segundo un trabajo de 75 kilográmetros.

Vemos, pues, que bastaría el calor emitido por algunos metros cuadrados de la superficie del Sol para hacer funcionar todas las máquinas de vapor que trabajan en nuestro globo. Una de las mayores máquinas que se hayan jamás construido, fué expuesta el 67 en la Exposición universal de París, y pertenece á la fragata Freidland; tiene una fuerza de 4000 caballos, y exige para la producción del vapor necesario ocho calderas tubulares, consumiendo cinco toneladas de carbón por hora.

Podríamos valuar también la potencia mecánica equivalente á la radiación total de la superficie solar, y hallaríamos un número de caballos de vapor representado por 470 quillones, es decir, $470 \times 10^{18}$. Tal es la enorme potencia emanada del Sol, cuya magnitud no podemos comprender de un



modo exacto. Podemos ciertamente alinear las cifras bastantes para representarla, pero el número resultante no dice nada á nuestra imaginación, que es incapaz de concebirlo.

Podríamos también apreciar la temperatura del Sol, teniendo en cuenta el trabajo representado por el calor emitido por radiación. Comparando este calor con el de nuestras locomotoras, se halla que un metro cuadrado de la superficie solar emite, por lo menos, tanto calor como una parrilla de 80 metros cuadrados. Suponiendo exacta esta valuación, sobre lo cual podrían abrigarse bastantes dudas, resulta que si la temperatura de nuestros hornos es de 150 grados, la del Sol debe ser de 120,000°. Este resultado, ciertamente muy bajo, es, sin embargo, muy superior á los números propuestos por algunos físicos. Decimos que el resultado es muy bajo, porque el Sr. Crova ha demostrado últimamente que los números dados por Pouillet, como representando las calorías recibidas del Sol por la atmósfera terrestre, son notablemente menores que la realidad; pero no siendo estas valuaciones más que una primera aproximación, lo dicho puede bastar.»

(Secchi, «El Sol,» Tomo 2º páginas 269 y siguientes, Traducción de A. García.)

La enorme discordancia en los resultados obtenidos para valuar la intensidad calorífica del Sol, demuestra que por los medios empleados hasta hoy, no se puede resolver el problema.

En los procedimientos que se han descrito hay dos causas de error: primero se toma como punto de partida para hacer los cálculos, la temperatura dentro de la atmósfera y ya se ha visto que esta última aumenta ó mejor dicho á ella se debe la intensidad calorífica atribuida al Sol; y en segundo lugar, no se atiende á que por la razón mencionada en los fenómenos de la propagación del calor y luz solares, deja de ejercer su imperio, en cierto modo, la ley según la cual

las fuerzas de la naturaleza decrecen en razón inversa del cuadrado de la distancia.

Dicha ley se combina con otras, especialmente con la ley de las relaciones de las masas: no hay manifestaciones de calor y de luz y en general, no se producen fenómenos físicos, sino allí donde hay materia y en proporción á la cantidad de la materia. Esta doctrina al tratar otras cuestiones tendrá más amplio desarrollo. Por ahora, bastará decir que entre el Sol y los otros cuerpos del sistema, se producen fenómenos semejantes á los que se observan en los espejos ustorios ó al fenómeno que ofrece una lente cuando recoje los rayos del sol.

El experimento llamado de las espejos ustorios, se dispone, en el gabinete, de la manera siguiente: Sean dos espejo cóncavos M y N (Fig. 40) colocados uno enfrente del

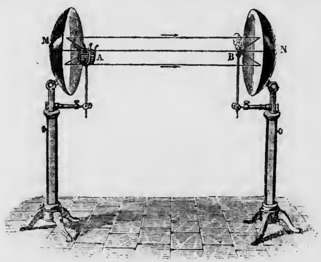



Figura 40.

otro á algunos pies de distancia, en los dos extremos de una sala. Se colocan carbones encendidos en el foco A del espejo M y un pedazo de yesca en el foco B del espejo N. Mientras se tenga una pantalla entre ambos espejos, nada sucede; pero no bien se quita la pantalla cuando la yesca se encien-



de, Lo que principalmente llama la atención en este experimento es, que en los puntos inmediatos á los carbones hay menos cantidad de calor que en el foco B que está retirado. Así si se coloca la yesca en cualquiera de los puntos intermedios entre los dos espejos aunque esté más inmediata á los carbones no se enciende; de consiguiente y contra la ley general, alejándose del manantial calorífico se encuentra más calor.

Es tan completa la semejanza entre el mencionado experimento y los fenómenos caloríficos y luminosos que el Sol desarrolla en los planetas, que esa analogía se descubre hasta en pequeños detalles; por lo que no debe dudarse de que aquí se encuentra, al menos en parte, la explicación de los fenómenos referidos. Desde luego el experimento de los espejos ustorios solo surte efecto á cierta distancia que depende de las dimensiones de los mismos espejos, así también entre el Sol y las estrellas, que se encuentran á inmensas distancias, no se verifican los fenómenos que se observan en aquellos.

En el espacio que media entre el Sol y los planetas no hay manifestación sensible de calor ni de luz, los planetas según se ha dicho, aparecen como astros luminosos que se destacan en un fondo obscuro. De consiguiente sucede que el calor y la luz aparecen únicamente allí donde hay una porción suficiente de materia que sirve como de recipiente á esos fenómenos.

Que el calor y la luz solares no varían sensiblemente con la distancia, se deduce del hecho que la Tierra unas veces se aproxima y se aleja otras del Sol y no obstante la cantidad de calor y de luz en el globo terrestre, no aumenta ni disminuye por tal motivo. Otra prueba es que los planetas interiores ó más próximos al cuerpo central son relativamente más densos, por el contrario los planetas exteriores o más lejanos del Sol son como cinco veces menos densos y su aplanamiento es tambien más notable. Estas diferencias se rigen según la ciencia, por la ley en cuya virtud la configura-

ción superficial de un esferoide elíptico depende de la velocidad de rotación y de la temperatura.

El cuerpo central no obstante ser luminoso está rodeado de oscuridad.

En las Escrituras se compara al Verbo con una *luz que resplandece en medio de las tinieblas y que las tinieblas no la han recibido*, palabras cuyo sentido literal parece incomprensible; porque la luz y las tinieblas se excluyen mutuamente, donde hay luz no hay oscuridad. Sin embargo, conforme á lo expuesto, propiamente se aplica al Sol, imagen de Jesucristo, la frase del escritor sagrado: Es una luz que resplandece en medio de las tinieblas y que las tinieblas no la reciben.

Algunas veces se ha tratado de apreciar la energía calorífica y luminosa del Sol por los efectos que se obtienen con los espejos cóncavos y las lentes. Refiérese á este respecto que Arquímides incendió las naves romanas delante de Siracusa empleando tales espejos. Buffon ha construido también espejos ustorios cuya potencia prueba que es posible el hecho atribuido á Arquímides. Se ha conseguido obtener en el foco de esos espejos ó de unas lentes, un calor tan intenso de la luz del Sol, que entran en fusión á los pocos momentos la sílice, la piedra pomez, el cobre, la plata y el hierro

Seguramente que ese poder calorífico revelado por los espejos y las lentes, reside en cierto modo en el Sol, ya que nadie puede dar lo que no tiene; más en el cuerpo central ese calor, ó más bien dicho, ese poder calorífico, estará repartido en una masa que tiene un millón de veces el volumen de la Tierra.

Los espejos cóncavos lo mismo que las lentes poseen la cualidad de recoger, acumular ó concentrar en un solo punto, los rayos caloríficos y luminosos precedentes de cualquier manantial. Más no debe concluirse de esto que el manantial posea en cada uno de sus puntos, la misma canti-



dad de calor y de luz que se obtienen en el foco del espejo ó lente, donde como se ha dicho, hay una acumulación de esos rayos. El calor, que encentrado por esos medios, es capaz de derretir los metales, repartido en la masa del Sol será quizá frío. El Icaro de la fábula, admitiendo esta hipótesis, podría aproximarse impunemente al astro del día sin temor de que se derritiera la cera de sus alas. Debe recordarse que la ciencia ha elevado frecuentemente á la categoría de principios incontestables verdaderas paradojas, como son: que la llama produce agua, que el Sol está fijo y que la Tierra se mueve.

## CAPITULO IV.

**Inducción solar. - Variaciones de las manchas y oscurecimientos del disco del Sol.**

Se ha dicho, en la primera parte de esta obra, que el Sol ejerce sobre los planetas una acción electro-magnética, convirtiéndolos en verdaderos imanes; más adelante se demostrará que esos fenómenos electro-magnéticos dan orígen, ó con mayor propiedad, van acompañados de manifestaciones caloríficas y luminosas; y por ahora se estudiará la referida acción solar á la luz de las modernas teorias físicas.

La Física analiza esas cuestiones dándoles el nombre de inducción ó influencia; y las explica diciendo que, un cuerpo electrizado obra á distancia sobre otro en el estado neutro y descomponiendo la electricidad llamada neutral, atraé la electricidad de nombre contrario á la que él posee, y repele la del mismo nombre.

Para dar cuenta de este efecto, que es una consecuen-

cia de la acción mutua de ambas electricidades, se dice que el cuerpo que primero se hallaba en el estado neutro, está ahora electrizado por influencia ó por inducción. Demuéstrase, en el gabinete, mediante varios aparatos, la electrización por influencia, siendo uno de los más comunes el siguiente:

M (Fig. 41) representa uno de los conductores de la

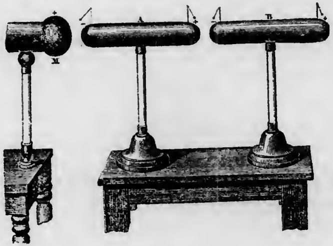


Figura 41.

máquina eléctrica, que según se sabe, esta cargada de electricidad positiva. Esta electricidad obra por influencia sobre la electricidad neutra del cilindro A, la descompone, atraé á la negativa y repele á la positiva; distribuyéndose ambas conforme lo indican los signos + y — del dibujo. Un cuerpo electrizado por influencia puede á su vez actuar sobre otros cuerpos inmediatos para separar sus dos electricidades, como se ve en la disposición relativa de los signos + y — sobre un segundo cilindro B, colocado á continuación del cilindro A.

Lo importante de estos experimentos, en lo que se refiere á la teoría que se expone, consiste en que los mencionados fenómenos se deben, no á la comunicación de energía,



sino á la descomposición de la energía propia de cada cuerpo.

Los fenómenos de inducción son originados en los cuerpos por los imanes y por las corrientes eléctricas, esto es; la inducción domina ó abarca todas esas manifestaciones y en ninguno de los mensionados fenómenos hay trasmisión propiamente de energía. Así cuando una sustancia magnética se aproxima á una barra imatada, la energía de la sustancia se descompone, y esta se transforma en un imán completo, pero solo mientras dura la influencia de la barra imantada. Cesando dicha influencia la sustancia no conserva ninguna huella de magnetismo, lo que demuestra que el iman no ha cedido nada al otro cuerpo.

En el Sol se observan, algunas veces, variaciones periódicas en los fenómenos luminosos que ofrece el astro; y esas variaciones pueden ser originadas, según se verá, por la inducción ó relaciones mutuas entre aquel cuerpo y los demás del sistema.

Se ha tratado de determinar si las épocas de las variaciones en el brillo del disco solar siguen alguna ley; la estadística de las manchas prueba que hay en sus apariciones una periodicidad manifiesta.

Se han construido tablas que comprenden varios años de observaciones, las cuales pueden consultarse al final del capítulo, y se han deducido las conclusiones siguientes:

1ª A contar de la época en que se presenta un máximo ó un mínimo de manchas, hasta la repetición del fenómeno trascurre un intervalo de tiempo comprendido entre 10 y 12 años. Este tiempo coincide con el de la revolución de Júpiter.

2ª Todo máximo dista, en tiempo, menos del mínimo precedente que del siguiente. Según la Rue, por término medio el crecimiento dura 3 años 0,52, y la diminución 7 años 0,55. Y se ha observado que, cuando un periodo de

diminución se acorta ó alarga, el siguiente decrecimiento se alarga ó acorta de igual manera.

Wolf, para resumir la marcha de las variaciones anuales, ha construido una curva, y otra análoga Carrington, en que las abscisas representan los años y las ordenadas el número de manchas. El estudio de la curva de Wolf enseña que existe el periodo undecenal y que en realidad hay dos periodos superpuestos, uno el ya dicho, y otro semisecular. Así es que las variaciones de las manchas ofrecen una regularidad casi matemática.

La existencia de periodos tan bien marcados, ha movido á los astrónomos á buscar la causa que pudiera producirlos, admitiendo algunos sabios la influencia de los planetas en esa clase de fenómenos que presenta el Sol; opinión que confirma nuestra teoría.

La sola presencia de las manchas en la región zodiacal hizo sospechar á Galileo una relación de dependencia entre ellas y la posición de los planetas.

Según Wolf, la causa de la periodicidad se encuentra en los demás astros por la relación que existe entre aquella y las variaciones de posición de los últimos, debiendo tenerse psesente que la acción se debería á todos los cuerpos del sistema resultando por esto muy compleja.

La Rue y sus colegas Stewart y Loevy, han estudiado laboriosamente este punto de Física solar, y sus trabajos, han llegado á poner en claro que las conjunciones de Venus y Júpiter tienen cierta influencia sobre el número de las manchas y sobre la latitud, y que esta influencia es menos notable cuando está Venus en el plano del ecuador solar. Recuérdese que según la teoría del magnetismo en el imán-sol debe existir una zona neutra, la cual es probable coincida con la región del ecuador solar; admitiendo esto se explica porqué en esa zona la influencia de los astros deja de ser sensible.



Para conocer mejor las mencionadas coincidencias y la importancia que puede atribuírseles, ha hecho la Rue otro trabajo en el que ha analizado varios grupos de manchas; fijándose especialmente en las que han sido objeto de observaciones más constantes y completas, y sobre todo en aquellas en que las observaciones corresponden á la parte central de la revolución. Después de haber examinado 794 grupos, ha llegado á formular las conclusiones siguientes:

1ª Si se considera dividido el Sol en dos partes por un meridiano que pase por el centro del disco visible, representado por un diámetro perpendicular al ecuador, se observa que la magnitud media de las manchas no es igual en las dos mitades del disco.

2ª Estudiando particularmente las manchas observadas en la época en que los planetas inferiores, Venus y Marte, se hallan á distancias iguales á 270, 180, 90 y 0 grados, y extendiendo el estudio á las correspondientes posiciones, ha llegado á averiguarse que las manchas son más grandes en la parte del Sol opuesta á Vénus y á Mercurio, y más pequeñas en el lado de los dos planetas. Usando los métodos de Carrington ó las fotografías de Kew, se obtiene el mismo resultado.

Wolf ha creído percibir asimismo cierta influencia de Saturno. Así pues, que no sea igual la magnitud media de las manchas en las dos mitades del disco solar, se puede explicar por la diferente distribución de los cuerpos del sistema alrededor del astro central. La influencia que mutuamente ejercen los astros unos sobre los otros, da origen al desarrollo del magnetismo que va acompañado de manifestaciones luminosas y caloríficas.

De lo expuesto en este capítulo se deduce asímismo que se encuentra el Sol lejos de haber llegado á un estado de agotamiento; que, por el contrario, es asiento de una activi-

dad inmensa é incompatible con las teorías actuales que lo suponen agotable.

Se ha observado que en ciertas épocas se obscurece el disco del Sol, y su luz se ha debilitado hasta el extremo de ser visibles las estrellas en pleno día. En 1547, hácia la época de la batalla de Mühlberg, se efectuó por el espacio de tres días un fenómeno de este género, que no pudo explicarse ni por las nieblas ni por las cenizas volcánicas. Dieron los sabios diferentes explicaciones del fenómeno desde Kepler que creyó encontrar la causa, ya en la formación de una materia cósmica, ya en una nube que suponía formada por las emanaciones de mimo Sol, hasta Adolfo Enman que señaló la coincidencia de esos fenómenos con las fechas correspondientes á la conjunción de las estrellas errantes y asteroides.

Las citas que hacen algunos historiadores de los oscurecimientos ocurridos en el Sol, ó hablando con más exactitud de una diminución más ó menos grande de la luz solar, son muy frecuentes. Extractando una nota del barón de Humboldt, se citan, en seguida, algunas narraciones históricas y tradiciones populares que mencionan disminuciones repentinas en el brillo día:

A. 45 años antes de J. C. Cuando la muerte de Julio César, después de la cual el Sol permaneció durante un año entero, pálido y con menos calor que de costumbre. El aire era denso, frío y sombrío: los frutos no llegaron á sazón. (Véase Plutarco, Julio César, cap. 87; Dion. Casos, libro XLIV; Virgilio. Geórgicas, li ,ro I. v. 466.)

A. 33 años después de J. C. Año de la muerte del Salvador. «A partir de la hora sexta, se extendió una oscuridad en todo el país hasta la hora novena. (Evangelio según San Mateo, cap. 27 v. 45.) Según el Evangelio de San Lucas (cap. 23, v. 45) «El sol perdió su brillo.» Eusebio cita en apoyo de esta indicación un eclipse de Sol, ocurrido



en la CCII olimpiada, del cual había hecho mención un cronista, Phlégon de Tralles. Pero Wurm ha demostrado que en ese tiempo la Luna no pudo eclipsar al Sol durante tres horas.

A. 358. El 22 de Agosto: oscuridad precursora de un temblor de tierra en Nicomedia, que destruyó también otras muchas ciudades en Macedonia y en el Ponto. La oscuridad duró dos ó tres horas.

A. 360. Extendiéronse las tinieblas, desde la mañana hasta el medio día en todas las provincias orientales del imperio romano. Veíanse las estrellas; así es que este fenómeno no fué debido á una lluvia de cenizas, y su duración no permite atribuirlo á un eclipse total.

A. 409. Cuando Alarico apareció en Roma. La oscuridad permitió ver las estrellas en pleno día. (Schnurrer, Chronikder Seuchen, primera parte, pág. 113.)

A. 536. Repitiéndose un fenómeno semejante en 1783. En Alemania hase adoptado un nombre particular (niebla seca), para designar esas diminuciones en la intensidad del Sol; pero las explicaciones que se han intentado, están lejos de aplicarse á todos los casos.

A. 567. Según se afirma este fenómeno se ofreció en un principio como tormenta magnética, como aurora boreal perpetua, que duró todo un año y á la cual sucedieron las tinieblas y una lluvia de cenizas. (Abu'l-Taragius, Supplementum Historiæ Dynast., pág. 95.)

A. 626. El sol se oscureció el 19 de agosto. (Schnurrer, Cronik des Seuchen, primera parte, pág. 164.

A. 934. En la Historia de Portugal de Taria y Souza (p. 147) se encuentran estas palabras: «En Portugal se vió sin luz la Tierra por dos meses. Entonces abrióse el cielo *por fractura* con muchos relámpagos, y el Sol recobró súbitamente todo su brillo.»

A. 1091. El 21 de Septiembre, obcurecióse el Sol du-

rante tres horas, después de las cuales conservó un color particular. (Martín Crusius, annales Suevicio, t. I, pág. 279.)

Estos curiosos hechos, comprobados por el testimonio de historiadores fidedignos, revelan en el Sol fuerzas hasta hoy poco estudiadas; auroras boreales seguidas de oscurecimientos en el disco del Sol, acompañando á tales fenómenos tormentas magnéticas y temblores de tierra, indican claramente la influencia de naturaleza magnética que todos los astros ejercen unos sobre los otros, y así como en los experimentos del gabinete algunas veces la electricidad parece como equilibrada, en estado de tensión manifestándose por movimientos regulares; y otras veces sus efectos son violentos y destructivos; de la misma manera cuando en el Sol se verifica un cambio rápido de su tensión eléctrica, deben producirse en los demás cuerpos del sistema, fenómenos más ó menos extraordinarios y transtornos de mayor ó menor intensidad.

Si según lo expuesto las acciones entre el Sol y los planetas son mutuas, se infiere que si aquel es, en cierto modo, la causa de los fenómenos caloríficos y luminosos que se observan en los últimos; á su vez éstos deben tener una marcada influencia en los fenómenos de la misma clase que ofrece el disco solar. Así es que si los planetas desaparecieran por cualquier circunstancia, el Sol, careciendo ya de objeto, quizá se apagaría. Esta hipótesis no carece de fundamento, la naturaleza ofrece hechos semejantes; así en el reino de los vivientes, toda función, que no se ejercita, desaparece; todo órgano que no funciona, se atrofia.

Se han observado asímismo variaciones de luz en las estrellas, que se pueden explicar admitiendo que se alejan y se aproximan á la Tierra; ó bien por causas semejantes á las que producen esos mismos fenómenos en el Sol. Debe existir una gran analogía, en cuanto al modo de generación de la luz, entre el Sol y los otros soles, es decir, las estrellas. También en estas se notan variaciones periódicas y no periódicas.



dicas. La estrella variable del cuello de la Ballena cambia desde la 2ª á la 11ª magnitud, y aún llega á desaparecer; *η* de la Nave Argos oscila entre la 4ª y la 1ª magnitud, y adquiere tambien casi el brillo de Sirio.

CUADRO EXPRESIVO DE MANCHAS OBSERVADAS EN EL SOL, DURANTE 47 AÑOS.

| AÑOS | Dias de observación | Dias sin manchas | Número de manchas | Superficie de las manchas | Colegio Romano |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ... |
| 1826 | 277 | 22 | 118 | ... | ... |
| 1827 | 273 | 2 | 161 | ... | ... |
| 1828 | 282 | 0 | 225 | ... | ... |
| 1829 | 244 | 0 | 199 | ... | ... |
| 1830 | 217 | 1 | 190 | ... | ... |
| 1831 | 239 | 3 | 149 | ... | ... |
| 1832 | 270 | 49 | 84 | 196 | ... |
| 1833 | 267 | 139 | 33 | 73 | ... |
| 1834 | 273 | 120 | 51 | 142 | ... |
| 1835 | 244 | 18 | 173 | 837 | ... |
| 1836 | 200 | 0 | 272 | 1407 | ... |
| 1837 | 168 | 0 | 333 | 1236 | ... |
| 1838 | 202 | 0 | 282 | 876 | ... |
| 1839 | 205 | 0 | 162 | 817 | ... |
| 1840 | 263 | 3 | 152 | 575 | ... |
| 1841 | 283 | 15 | 102 | 340 | ... |
| 1842 | 307 | 64 | 68 | 209 | ... |
| 1843 | 312 | 149 | 34 | 108 | ... |
| 1844 | 321 | 111 | 52 | 197 | ... |
| 1845 | 332 | 29 | 114 | 396 | ... |
| 1846 | 314 | 1 | 157 | 599 | ... |
| 1847 | 276 | 0 | 257 | 1127 | ... |
| 1848 | 278 | 0 | 330 | 1112 | ... |
| 1849 | 285 | 0 | 238 | 755 | ... |
| 1850 | 308 | 2 | 186 | 583 | ... |
| 1851 | 308 | 0 | 141 | 658 | ... |
| 1852 | 337 | 2 | 125 | 522 | ... |

| AÑOS | Dias de observación | Dias sin manchas | Número de manchas | Superficie de las manchas | Colegio Romano |
|---|---|---|---|---|---|
| 1853 | 299 | 4 | 91 | 350 | . . . |
| 1854 | 334 | 65 | 67 | 198 | . . . |
| 1855 | 313 | 146 | 38 | 82 | . . . |
| 1856 | 321 | 193 | 34 | 40 | . . . |
| 1857 | 324 | 52 | 98 | 227 | . . . |
| 1858 | 335 | 0 | 202 | 763 | . . . |
| 1859 | 343 | 0 | 205 | 1390 | 257 |
| 1860 | 332 | 0 | 211 | 1343 | 251 |
| 1861 | 322 | 0 | 204 | 1310 | 251 |
| 1862 | 317 | 3 | 160 | 1165 | 168 |
| 1863 | 330 | 2 | 124 | 749 | 165 |
| 1864 | 325 | 4 | 130 | 815 | 97 |
| 1865 | 307 | 26 | 93 | 549 | 86 |
| 1866 | 349 | 76 | 45 | 199 | 81 |
| 1867 | 312 | 195 | 25 | 188 | 32 |
| 1868 | 301 | 12 | 101 | 449 | 92 |
| 1869 | 179 | 0 | . . . | . . . . | 198 |
| 1870 | 147 | 0 | . . . | . . . . | 305 |
| 1871 | 380 | 0 | . . . | . . . . | 304 |
| 1872 | 315 | 0 | . . . | . . . . | 292 |



## Cuadro de las épocas de máximo y mínimo en las manchas solares por WOLF.

| MAXIMOS | | MINIMOS | |
|---|---|---|---|
| Epoca | Limite del error | Epoca | Limite del error |
| **Série antigua** | | | |
| | | 1610,8 | —0,4 |
| 1615,0 | —1,5 | 1619,0 | —1,5 |
| 1626,0 | —1,0 | 1634,0 | —1,0 |
| 1639,5 | —1,0 | 1645,0 | —1,0 |
| 1655,0 | —2,0 | 1666,0 | —2,0 |
| 1675,0 | —2,0 | 1679,5 | —2,0 |
| 1685,5 | —1,5 | 1689,5 | —2,0 |
| 1693,0 | —2,0 | 1698,0 | —2,0 |
| 1705,0 | —2,0 | 1712,0 | —1,0 |
| 1717,5 | —1,0 | 1723,0 | —1,0 |
| 1727,5 | —1,0 | 1733,0 | —1,5 |
| 1738,5 | —1,5 | 1745,0 | —1,0 |
| **Série antigua** | | | |
| 1750,0 | —1,0 | 1755,7 | —0,5 |
| 1761,5 | —0,5 | 1766,5 | —0,5 |
| 1770,0 | —0,5 | 1775,8 | —0,5 |
| 1779,5 | —0,5 | 1784,8 | —0,5 |
| 1788,5 | —0,5 | 1798,5 | —0,5 |
| 1804,0 | —0,1 | 1810,5 | —0,5 |
| 1816,8 | —0,5 | 1823,2 | —0,2 |
| 1829,5 | —0,5 | 1833,8 | —0,2 |
| 1837,2 | —0,5 | 1844,0 | —0,2 |
| 1848,6 | —0,5 | 1856,2 | —0,2 |
| 1860,2 | —0,2 | 1867,1 | —0,1 |

Tabla de las latitudes mayores y número relativo de las manchas observadas por SPÖRER.

| Años | Hemisferio Norte | | Hemisferio Sur | | Ambos Hemisferios | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Número | Latitud | Número | Latitud | Número | Latitud |
| | | ° ' | | ° ' | | ° ' |
| 1854 | 138 | 10.26 | 90 | 9.39 | 228 | 9.91 |
| 1855 | 46 | 7.2 | 48 | 8.35 | 94 | 7.79 |
| 1856 | 21 | 8.33 | 9 | 9.0 | 30 | 8.53 |
| | 3 | 31.7 | 32 | 28.72 | 35 | 28.97 |
| 1857 | 9 | 3.4 | » | » | 310 | 23.9 |
| | 144 | 23.56 | 157 | 24.36 | | |
| 1858 | 236 | 20.67 | 526 | 20.57 | 762 | 20.60 |
| 1859 | 432 | 17.33 | 537 | 17.07 | 962 | 17.18 |
| 1860 | 712 | 17.80 | 695 | 16.76 | 1407 | 17.29 |
| 1862 | 622 | 14.22 | 563 | 14.48 | 1185 | 14.34 |
| 1861 | 373 | 12.74 | 400 | 11.98 | 773 | 12.34 |
| 1863 | 306 | 10.79 | 262 | 10.43 | 568 | 10.62 |
| 1864 | 383 | 11.07 | 244 | 10.16 | 527 | 10.66 |
| 1865 | 200 | 9.26 | 172 | 10.16 | 372 | 9.67 |
| 1866 | 101 | 9.36 | 83 | 8.40 | 184 | 8.93 |
| 1867 | 43 | 7.96 | 8 | 7.44 | 51 | 7.88 |
| | 13 | 26.84 | 52 | 22.92 | 65 | 23.71 |
| 1868 | 178 | 24.94 | 278 | 21.83 | 456 | 23.05 |
| 1869 | 428 | 21.68 | 479 | 21.63 | 907 | 21.65 |
| 1870 | 738 | 16.96 | 765 | 18.88 | 1503 | 17.94 |
| 1871 | 509 | 17.68 | 582 | 14.64 | 1091 | 16.06 |



## CAPITULO V.

**La ciencia ha comprobado que la luz del Sol es por su naturaleza lo que se llama luz eléctrica - El Sol y los rayos X.**

La luz del Sol es lo que se llama luz eléctrica; esto aparece comprobado por las últimas investigaciones científicas. Se verá después que toda clase de luz, cualquiera que sea su orígen, no es sino un fenómeno de electricidad ó magnetismo; sin embargo la luz que procede, v. gr., de una combustión, tiene caracteres especiales que la distinguen de las otras luces.

Los fenómenos eléctricos y magnéticos, en ciertas condiciones y con la necesaria intensidad, van siempre acompañados de manifestaciones caloríficas y luminosas. Faraday ha demostrado que, la acción contraria de las fuerzas magnéticas, desarrolla luz. Y Arago dice: «Que numerosos hechos parecen indicar, que cuando una masa está reducida mecánicamente al estado de division extrema, la tension eléctrica puede crecer lo bastante para desarrollar la luz y el calor.»

Varios astrónomos eminentes, entre ellos Guillermo Herschell, creen que el Sol se halla en un estado de aurora boreal perpetua. Siendo aquí de notar, que esa clase de fenómenos se producen, en la Tierra, más comunmente, hácia los polos, donde la temperatura es de varios grados bajo cero. Lo que se sabe acerca de la constitucion del astro central, y el aspecto mismo que presenta su disco, parecen confirmar que el Sol es sitio de manifestaciones electro-mogné-

ticas. Así se expresa, á este respeto, John Herschel, citado por Briot.

«La porción del disco solar, que no se encuentra cubierta por las manchas, está lejos de tener un brillo uniforme. El fondo parece sembrado de una multitud de puntos oscuros ó *poros*, que, examinados atentamente, se muestran en un estado perpetuo de cambio. La mejor comparación que se puede hacer de esas apariencias es la de un precipitado químico, en copos, que se opere con lentitud en un fluido trasparente, y visto por encima. La semejanza es tan fiel que no puede menos de hacer nacer la idea de un fluido luminoso que se mezcla, sin confundirse, con una atmósfera trasparente y no luminosa, sea que flote á la manera de nubes en nuestra atmósfera, sea que forme largas cadenas ó columnas de llamas, análogas á las de nuestras auroras boreales.

Por fin, en la vecindad de las grandes manchas ó grupos de manchas, se observan á menudo anchos espacios cubiertos de rayas muy bien marcadas, encorvadas ó ramificadas, que son más luminosos que el resto del disco, y que se llaman fáculas. Se ven formarse frecuentemente manchas cerca de las fáculas, donde antes no existían. Es probable que se deban á olas inmensas producidas en las regiones superiores de la atmósfera solar, á consecuencia de violentas agitaciones.»

La luz eléctrica tiene las mismas propiedades ó caracteres que la luz del Sol, produce, como esta última, la combinación de una mezcla de oro y de hidrógeno, obra químicamente sobre el cloruro de plata y, según ha observado Hervé, la materia verde de los vegetales se desarrolla bajo la influencia de la luz eléctrica como bajo la de la luz solar. Trasmitida aquella á través de un prisma, da un espectro semejante al solar, del que difiere solo por la presencia de ciertas rayas. Con tres series de pares de Bunsen, de 46 pa-



res cada serie, se ha obtenido una intensidad luminosa como de la tercera parte de la luz solar.

Observando un rayo de Sol que penetraba en un aposento oscuro, á través de una pequeña abertura hecha en la ventana, vimos que tenía el rayo la apariencia de una nubecilla, en la cual se movía con gran velocidad el polvo. Los corpúsculos inorgánicos aparecían luminosos, comparables á diminutas estrellas errantes. Algunos corpúsculos, fuera ya de la zona luminosa, conversaban la luz, en virtud, sin duda del fenómeno llamado fosforescencia por insolasación, de que se hablará en el siguiente capítulo.

Llamó principalmente nuestra atención que el rayo de Sol, en la pieza oscura, tiene las propiedades de los rayos X, esto es; atraviesa como la luz desprendida de un tubo de Crookes en actividad, los cuerpos de orígen orgánico. La mano colocada en el rayo de Sol se trasparenta completamente en sus partes que tienen menos espesor; el dedo pequeño, por ejemplo, ó la mano de un niño, se ven atravesados por la luz, distinguiéndose con toda claridad las ramificaciones de las arterias, en el lado opuesto á aquel por donde penetra la luz. El mismo fenómeno de trasparencia se observa en otros cuerpos orgánicos, v. gr.; un huevo de gallina, un disco delgado de corcho ó de madera, una hoja vegetal, un pétalo de flor, ect. Todos estos objetos, según las condiciones en que se verifique el experimento, se ven más ó menos trasparentes, como si fuesen de cristal.

De aquí se puede deducir lo siguiente: 1º Que la luz del Sol tiene al menos las principales propiedades de los rayos X del tubo de Crookes, es decir, que atraviesa [y esto mismo se observa en otras clases de luz,] los cuerpos de orígen orgánico. 2º Que es probable que la luz atraviese otros cuerpos aunque el fenómeno no sea siempre sensible para el ojo humano. Así se sabe que en los objetivos de los anteojos se coloca una lámina delgada de metal que permite ver á

través de ella el Sol. 3º Que para que el fenómeno de los rayos X sea perceptible, se requieren ciertas condiciones en la observación, siendo la pincipal de ellas el contraste entre la luz y la oscuridad. El fenómeno siempre se verifica, más no siempre se puede percibir. 4º Se deduce asimismo de lo expuesto la explicación de los rayos X: no son estos un fenómeno especialmente misterioso, todo depende de las condiciones en que se coloca el observador, así como las estrellas no se ven durante el día; de la misma manera, la trasparencia de los cuerpos orgánicos no se hace sensible, sino en la oscuridad.

En estos últimos tiempos se ha creído descubrir otras clases de rayos más ó menos semejantes á los rayos X. Así Mr. Blondlot, profesor de Física de la universidad de Nancy, estudió los rayos que emanan de las paredes de la ampolla de Crookes, encontrando que presentan ciertas diferencias con los rayos X, particularmente la de ser refractados y concentrados por una lente de aluminio. Dichos rayos, llamados rayos N, emanan de todos los cuerpos fosforescentes, y fluorescentes, de los cuerpos comprimidos, como el acero templado, y del cuerpo humano, según el Dr. Charpentier, durante las contracciones musculares. Se reconoce la presencia de estos rayos por el aumento de intensidad luminosa en una pantalla cubierta de sulfuro de calcio y hecha fluorescente por la vecindad de un fragmento de claruro de bario radiado. Lo más probable es, como han pensado algunos, que los rayos N no son distintos de los rayos X; y aun se ha llegado á decir que los físicos sufrieron á este respecto una sugestión.



## CAPITULO VI.

**La luz del día es, en parte, luz terrestre. - Análisis de la luz solar.**

En el presente capítulo se expondrán varias razones á fin de probar que, en parte al menos, la luz y el calor desarrollados en el globo terrestre, durante el día, por la acción del Sol, son luz y calor terrestres; cuya tésis es aplicable á los demás cuerpos celestes del sistema, especialmente aquellos que están dotados de atmósfera. En los astros que no tienen atmósfera asimismo los referidos fenómenos resultan de las acciones electro-magnéticas de los cuerpos; y por ser fenómenos de inducción, se verifican sin que haya pérdida ó trasmisión de energía.

Lo primero que deberá demostrarse es que la luz no requiere para producirse una temperatura demasiado elevada. Se ha considerado generalmente el calor como un manantial de luz. Opina Pouillet que empiezan á ser luminosos los cuerpos en la oscuridad á una temperatura de 500 á 600 grados, y en adelante crece la intensidad de la luz con la elevación de temperatura.

Muchas combinaciones químicas desprenden luz por las altas temperaturas que las acompañan: tal es la causa de las luces artificiales utilizadas para el alumbrado, porque las llamas no son otra cosa que materias gaseosas calentadas hasta el punto de ser luminosas. Haciéndose luminosos los cuerpos á una temperatura elevada, parece que el calor se transforma entonces en luz, lo cual tiende á probar que estos dos agentes deben referirse á una sola y misma causa, en especial si se observa que por lo común los rayos luminosos van acompañados de otros que son caloríficos. Con todo, no

es completa la identidad, porque se conocen muchas sustancias que á oscuras pueden lucir sin desprender calor, y si lo despiden es en cantidad inapreciable aun con los más sensibles instrumentos termométricos.

Esa propiedad se llama fosforescencia y fluorescencia. La fosforescencia es la propiedad que poseen muchas sustancias de emitir luz con temperaturas inferiores á 500 grados, Ed. Becquerel, que ha hecho un profundo estudio de este fenómeno y obtenido resultados sumamente notables, lo refiere á cinco causas:

1ª La fosforescencia espontánea en ciertos vegetales y animales, muy intensa en la fúlgora ó portalinterna y en la luciérnaga (gusano de luz,) cuyo brillo de su luz varía bajo el imperio de la voluntad. Asimismo en las regiones tropicales está cubierto á menudo el mar por una luz fosforescente bastante viva que se atribuye á zoófitos en extremo pequeños, que difunden materia luminosa. Quoy y Gaymard en su viaje bajo el ecuador observaron que un frasco lleno de líquido se ponía al instante luminoso en toda su masa sin más que introducir en él dos de esos animalillos.

2ª La fosforescencia por elevación de temperatura, que se manifiesta ante todo en ciertos diamantes y variedades de espato fluor, que calentados á 300 ó 400 grados se vuelven de pronto luminosos y esparcen una luz azulada.

3ª La fosforescencia por efectos mecánicos, como el rozamiento, la percusión, la esfoliación, etc; v. gr. cuando en la oscuridad se frotan uno con otro dos cristales de cuarzo, ó se parte un trozo de azúcar de pilón.

4ª La fosforescencia por electricidad, como la que resulta del frotamiento del mercurio contra el vidrio en el interior del tubo barométrico, y señaladamente de las chispas eléctricas procedentes de una máquina eléctrica ordinaria, de una batería ó de un carrete de Ruhmkorff.

5ª En fin, la fosforescencia por insolación, esto es,



por la acción de la luz solar ó de la denominada difusa de la atmósfera, como cuando muchas sustancias, después de expuestas á la impresión de la luz, brillan á oscuras con un vivo resplandor, cuya tinta é intensidad dependen de su naturaleza y estado físico.

La fosforescencia por insolación se descubrió primero en el sulfuro de bario; pero Becquerel la ha encontrado en otras muchas sustancias, como los sulfuros de calcio, bario y estroncio, que la presentan en el más alto grado. Cuando están preparados después de la insolación, pueden lucir por muchas horas en la oscuridad. Ese brillo se puede producir así en el vacío como en los gases, y por lo mismo no es posible atribuirle á una acción química, sino antes bien á una modificación temporal que se origina bajo la influencia de la luz.

Después de los sulfuros citados vienen los diamantes (sobre todo los amarillos,) muchas sales, y un crecido número de sustancias orgánicas, como la seda, el azúcar de caña y otras. La duración de la fosforescencia varía también según los cuerpos, depende de la sensibilidad de las materias y en general es tanto menor cuanto más elevada es la temperatura. Con los sulfuros de calcio y estroncio se prolonga á la temperatura ordinaria hasta treinta horas, y en otras sustancias solo es algunos minutos, segundos y aun fracciones de segundo.

Llámase fluorescencia una especie de fosforescencia instantánea, obsérvase en las soluciones de sulfuro de quinina y otras sustancias que cuando se exponen á ciertos rayos del espectro, toman instantáneamente un tinte azulado. El caracter distintivo entre la fosforescencia y la fluorescencia es que la primera persiste algún tiempo después de haberse apagado la luz que la excitó, en tanto que la última cesa instantáneamente con ella. En los tubos de Geisler á veces toma el fenómeno más bello aspecto por la fluorescencia ó fosforescencia del vidrio.

Después de lo expuesto se comprende que no es absurdo admitir que la atmósfera, por efecto de la acción del Sol, se vuelva luminosa y que la luz del día se deba entonces á una fluorescencia. Los planetas brillan así en la oscuridad del espacio. El fenómeno no será excepcional; y para su comprobación es fácil citar, apoyándose en autores distinguidos, diferentes manifestaciones de la luz terrestre.

El almirante Krusenstern, en su viaje alrededor del mundo, describe un bólido que dejó tras sí un rastro luminoso que, sin cambio sensible de lugar, brilló durante una hora. (Voyage, primera parte, p. 581.)

Han sido observados otros fenómenos semejantes. Poisson explica la ignición expontánea de las piedras meteóricas, á una altura en que la densidad de la atmósfera es casi nula, á la electrización de esas masas. (Poisson. Rech, sur la Probablité des jugemments, 1837, p. VI.)

Es probable que los cometas dejen de ser luminosos cuando entran en la zona de neutralidad magnética del Sol. Arago dice hablando de la luz de los referidos astros que no puede asentarse de una manera absoluta que los cometas no tengan luz propia. En efecto, hechos luminosos por sí propios, los cuerpos no pierden por esto, la facultad de reflejar luces estrañas á ellos.

Otros varios hechos demuestran, además de los referidos, que la atmósfera es ó puede hacerse luminosa aun sin la acción directa del Sol, tales son las nieblas luminosas observadas algunas veces, la claridad de ciertas noches, los relámpagos, las auroras polares y otros, pues se han observado fenómenos luminosos hasta en la nieve.

En una carta dirijida por el Dr. Olbers al barón de Humboldt, el 26 de Mayo de 1833, le dice: «Me es igualmente imposible explicar la claridad singular de ciertas noches, así como la extensión y el resplandor auroral de los crepúsculos cuya parte más brillante no correspondía, según



algunos observadores, al lugar que el Sol debía ocupar debajo del horizonte.»

El mencionado Humboldt hablando de la luz zodiacal, dice: «Las partículas de las nebulosidades de que se compone, pueden ser luminosas por sí mismas, ó reflejar unicamente la luz del Sol. La primera suposición no parece inadmisible, pues podría citarse en su apoyo la célebre niebla de 1783, que en plena noche, y en la época del novilunio, producía una luz fosfórica bastante intensa para iluminar los objetos y hacerlos claramente visibles aun á la distancia de 200 metros. (Cosmos, ensayo de una descripción física del mundo. Primera parte. pág. 126, traducción de B. Giner y José de Fuentes.) El mismo autor habla también de «las noches del año de 1831, tan maravillosamente claras en Italia y en el norte de Alemania que podían leerse aun á media noche los caracteres mas finos.» Y agrega: que «En estos hechos están en manifiesta contradicción todo lo que las más nuevas y sabias investigaciones han podido enseñarnos acerca de la teoría de los crepúsculos y de la altura de la atmósfera.» «Los fenómenos luminosos, dice Humboldt, dependen de condiciones poco conocidas, cuyas variaciones imprevistas nos sorprenden, ya se trate de la altura de los crepúsculos, ó ya de la luz zodiacal.»

En otra parte el astrónomo alemán se expresa así: «Arago distingue tres especies de manifestaciones luminosas; los relámpagos, unos en zig-zag, y otros que sin formas definidas iluminan el cielo. Sucede algunas veces que nubes solitarias colocadas á una gran altura sobre el horizonte, se hacen luminosas, sin que se oiga el trueno, y aun sin apariencia de tempestad: singular fenómeno que dura bastante tiempo, y fué señalado la primera vez por Nicholson y Beccaria, cuyas descripciones concuerdan perfectamente con las observaciones más recientes. Hánse visto también brillar con eléctrico resplandor y sin síntoma alguno de tempestad, gra-

nizos, gotas de lluvia y copos de nieve.» (Humboldt, obra citada, tomo I. p. 323) El mismo autor dice, refiriéndose á las auroras boreales: «La gran importancia de este fenómeno consiste en que la Tierra está dotada de la cualidad de emitir una luz propia, distinta de la que recibe del Sol. La intensidad de la *luz terrestre*, ó propiamente hablando, la claridad que en todo su esplendor puede esparcir esta luz sobre la superficie de la Tierra, es algo más viva que la del prime cuarto de Luna, y tan fuerte á veces (7 de Enero de 1831), que sin gran trabajo ha sido posible leer caracteres impresos. Esta luz de la tierra, cuya emisión no se interrumpe casi nunca hácia los polos, nos recuerda el resplandor fosforescente que se observa por lo común en la parte de Venus no iluminada por el Sol; y no será extraño, que otros planetas (Júpiter), la Luna y aun los cometas posean también una luz nacida de su propia sustancia, independientemente de la que el Sol les envía, y cuyo orígen comprueba el polariscopio. Aun prescindiendo de la apariencia problemática, pero muy común, de las nubes poco elevadas, cuya superficie toda brilla durante algunos minutos con trémulo resplandor, hay en nuestra atmósfera otros ejemplos que citar de esta producción de luz terrestre, cuales son las famosas nieblas de 1783 y 1831, que emitían una luz muy sensible durante la noche; aquellas grandes nubes, observadas con tanta frecuencia por Rocier y por Baccaria, que brillaban con luz apasible; y por último (observación ingeniosa de Arago), la luz difusa que guía nuestros pasos en las noches de otoño y primavera, cuando las nubes interceptan toda luz celeste y la nieve no cubre aun la Tierra.» (Cosmos, Tomo I, pág. 180.)

Las pertubaciones extraordinarias, cuyos efectos se revelaron primero por los cambios de declinación, anuncian en parte, y en parte acompañan á la luz polar magnética, como había presentido Halley, y comprobaron Hivrter y Fay. Las observaciones más recientes han inducido á creer á los



sabios que, la aurora boreal no debe considerarse como la causa de la perturbación que interrupe el equilibrio del magnetismo terrestre, sino como el resultado de la actividad del globo, exaltada hasta la producción de fenómenos luminosos, y que se manifiesta, de una parte, por la iluminación polar de la bóveda celeste, de otra, por las desordenadas oscilaciones de la aguja imantada. Según esto, la luz polar es una especie de descarga sin detonación, el efecto que da fin á la tempestad magnética, lo mismo que en las tempestades eléctricas, el equilibrio destruido se restablece por otro fenómeno luminoso, el relámpago, acompañado del trueno.

Después de una brillante aurora boreal, se han reconocido á la mañana siguiente, regueros de nubes que durante la noche semejaban otros tantos rayos luminosos.

Háse afirmado muchas veces que alrededor del polo norte magnético reina una aurora boreal perpetua. Bravais, que pasó en observación 200 noches consecutivas, durante las cuales contempló y describió exactamente 152 auroras boreales, declara en efecto, que las noches sin apariciones luminosas son excepcionales. A fines de Septiembre es cuando las auroras boreales, absolutamente hablando, son más númerosas; y como el mes de Mayo parece tener, bajo este respecto, una superioridad relativa sobre los meses de Febrero y de Abril, se ha llegado ya á sospechar que este fenómeno, como otros magnéticos, está en relación con los equinoccios.

La existencia de la electricidad en la atmósfera es un hecho perfectamente comprobado desde que el ilustre Franklin demostró la identidad de la chispa eléctrica y el rayo. Se observa que en donde llueve hay una fuerte manifestación de electricidad positiva, rodeada de una zona de electricidad negativa, seguida ésta de otra zona de electricidad positiva. El Sol, según se ha visto, desarrolla en el globo terrestre corrientes termo-eléctricas.

Es fácil observar, por otra parte, que la atmósfera

posee durante el día, las propiedades de un verdadero manantial de luz y no solo las de un cuerpo simplemente iluminado. En esto consiste el fenómeno que se llama luz difusa, que produce á su vez los fenómenos de la aurora y del crepúsculo. Cuando el Sol ha llegado abajo del horizonte de un lugar no solamente aparece para un observador iluminada la parte del cielo que recibe directamente la luz, sino también la parte que no recibe la luz del Sol. La parte iluminada de la atmósfera es por consiguiente, para la otra parte, un manantial de luz. No es raro ver á la hora del crepúsculo en la región del cielo no iluminada por el Sol, juegos de luz tan brillantes como los que se observan en el lado opuesto, por donde el Sol se pone. Cuando se asciende á las altas montañas, la cantidad de luz *difusa* disminuye, el azul del cielo se hace más oscuro, y domina el negro, que es la ausencia de luz.

No solo en la Tierra, sino también en otros planetas se ha notado, por los astrónomos, la facultad de emitir cierta luz propia. Estos fenómenos notables se han observado de tiempo en tiempo, sobre las partes de Venus y de Mercurio no iluminadas por el Sol. Cristian Mayer, G. Herchell y Harding han notado un resplandor ceniciento y un desprendimiento de luz propia en los mencionados planetas, y no es verosímil que pueda la luz reflejada de la Tierra, á tan grande distancia, producir ese resplandor ceniciento, como sobre la Luna. En esta última se han observado también. [Véase la Historia del Cielo por Stawell, pág. 54,] misteriosos rayos de luz en los cráteres de Copérnico y de Kepler. En el primero de esos cráteres, en el plenilunio, se ven radiar varias estrías alrededor del cráter; y en Kepler se encuentra la misma sustancia brillante, que también forma un sistema de rayos luminosos. Dichos fenómenos pueden, según la teoría expuesta, explicarse por una fosforescencia por insolación.



Donde no hay materia, como sucede en los espacios interplanetarios, no hay calor ni luz; donde los cuerpos no están dotados de envoltura gaseosa, como por ejemplo en la Luna, el calor y la luz desarrollados por el Sol son muy poco sensibles. Solamente en los astros que poseen atmósfera, los referidos fenómenos alcanzan notable intensidad, luego: aunque no se admitiera que la atmósfera, por la acción del Sol, se vuelve luminosa, tendría que convenirse en que en general á la materia y muy especialmente á la materia atmosférica, se deben las manifestaciones caloríficas y luminosas atribuidas al Sol, en otros términos, que esa materia es la condición *sine qua non* del fenómeno.

A fin de que se vea que las últimas investigaciones de la ciencia, acerca de la naturaleza de la luz solar, hechas por medio del aparato llamado espectroscopio, no contradicen la teoría sostenida, se hará un breve estudio de tan importante materia.

Con el espectroscopio adquirió la ciencia un instrumento poderoso para profundizar el conocimiento y naturaleza química de los astros y hasta cierto punto su estado físico. Este instrumento se ha empleado para el estudio de la atmósfera solar. Desde hace mucho tiempo se han emprendido trabajos sobre el análisis de la luz solar por medio del prisma.

El primero que dió del espectro una esmerada descripción fué Grimaldi. Newton repitió los experimentos de Grimaldi y reconoció que cada uno de los rayos del espectro pasando un nuevo prisma no sufre alteración; recompuso la luz blanca y señaló las proporciones en que deben combinarse los colores para producir una luz análoga á la del Sol.

Wollaston vió que el espectro no era continuo, que faltaba la luz en ciertos sitios, esto es, que tenía rayas negras en el sentido de su latitud y Fraunhofer imaginó la ma-

nera de estudiar y dibujar las rayas y de fijar sus posiciones por medidas exactas.

Para llegar á conocer la naturaleza y causa de las rayas de la luz solar, se han estudiado otras luces tanto naturales como artificiales. Se han obtenido los siguientes resultados:

Cuando se examinan cuerpos incandescentes, tales como los carbones del arco voltáico, un hilo de platino atravesado por una corriente eléctrica, la cal ó la magnesia caldeadas en la llama del gas oxíhidrico, el carbón en suspensión en la llama de una lámpara, etc., se obtiene un espectro continuo, sin raya alguna brillante o negra.

Siempre que al quemarse un cuerpo, á la presión ordinaria, dá origen á un compuesto gaseoso, la luz de su llama produce un espectro discontinuo, pero la parte azulada de su base, lugar de la combinación del carbono y del oxígeno, origina un espectro formado principalmente por tres grupos de rayas verdes y azules, separadas perfectamente unas de otras.

También puede obtenerse ese espectro examinando la llama del cianógeno ú otro compuesto del carbono; y aun pueden verse las rayas analizando el arco azulado que se produce entre los dos carbones de un regulador de luz eléctrica, cuando se hace uso de una pila poderosa. Así, mientras que los carbones, simplemente incandescentes, dan un espectro continuo, el arco voltáico da un espectro en que las rayas brillantes van acompañadas de ciertas bandas desvanecidas en forma de acanaladuras.

Cada sustancia da las mismas rayas, siempre que se encuentra a la misma temperatura. Si se hace variar la temperatura ó el grado de combustión del compuesto, se obtienen espectros muy diferentes. Algunos físicos opinan que cada gas tiene realmente distinto espectro, según las circunstancias; otros, por el contrario, opinan que á cada sus-



tancia corresponde un solo espectro, y que si uno ofrece varios, es debido a las impurezas que contiene.

Casi todos los metales dan origen á espectros discontinuos, formados de rayas brillantes separadas por bandas oscuras. Estos espectros son inversos al solar, en que domina la parte luminosa. Hay, sin embargo, ciertas sustancias que producen gran número de rayas; el hierro, por ejemplo sobre todo empleando una poderosa pilo de Bunsen. Algunas veces parece que ciertos metales dan un espectro continuo con algunas rayas brillantes; tal ocurre cuando se quema el magnesio. En este caso las rayas brillantes son del metal, y el espectro continuo proviene del óxido incandescente que, como sólido, en estado de incandescencia produce radiaciones de todas clases.

Cailletet ha reconocido que, bajo fuertes presiones, las rayas de los metales se esfuman y ensanchan, tal como ocurre en las de los gases, y llegarían a dar espectros continuos si pudiesen combinarse convenientemente las presiones y las temperaturas. Cuando se quema sodio en gran cantidad, en el arco voltáico, se ven dilatarse las rayas notablemente; parece, por lo tanto, que el ancho de las rayas puede depender no solo de la presión, sino también del espesor más ó ménos grande de la capa de vapor.

Yustaponiendo al espectro solar otros, resulta que con un gran número de sustancias hay perfecta coincidencia entre las rayas oscuras del espectro solar y las brillantes del otro espectro.

Foucault había notado que cuando se quema sodio en gran cantidad en el arco voltáico, en vez de dar como de ordinario la luz amarilla, produce, en ciertas circunstancias, un espectro mas intenso, casi continuo, en el cual aparece una línea negra ocupando la posición correspondiente á la amarilla. Kirchloff para explicar ese hecho formuló una teoría general; según él, la línea negra resulta de la absorción

ejercida por el vapor del sodio sobre la radiación procedente del punto brillante.

Resulta de lo expuesto que un espectro puede aparecer discontinuo; porque en realidad los rayos del foco luminoso no sean continuos ó por la acción absorbente de un gas ó de un vapor, que puede ser de la misma sustancia luminosa. De aquí se ha deducido que siendo muy absorventes los vapores metálicos, podría muy bien suceder que, actuando sobre la luz solar, originasen las rayas oscuras del espectro. Se ha comprobado que no es preciso estén los vapores en estado incandescente para producir la absorción. Así, Kirchhoff ha podido observar la absorción producida por el sodio operando con tubos llenos de hidrógeno, que contenían vapor de este metal á una temperatura bastante baja.

Como condición esencial figura, en todos estos experimentos, la de que la capa absorvente ha de tener menos temperatura que el foco luminoso. De aquí resulta el principio fundamental de estas investigaciones: Un vapor absorbe á baja temperatura, precisamente los mismos rayos que emitiría si estuviese incandescente.

Haciendo aplicación de los principios expuestos al estudio de la constitución del Sol, se ha dicho que las rayas del espectro no son más que los huecos hechos por la absorción debida a los vapores metálicos que constituyen la atmósfera solar: cada una de las rayas es el espectro invertido de una de estas sustancias, desconocidas en su mayor parte. Como sobre las masas luminosas hallan las radiaciones una capa de vapores que atravesar, en ella experimentan la absorción.

Bajo la capa absorvente, han creído los astrónomos, que existe otra luminosa produciendo radiaciones de todas clases. Esta aserción se ha entendido de dos modos: ó bien la fotoesfera está compuesta, como las nubes, de una especie de niebla debida á la condensación de los vapores metálicos,



que se ha considerado como un conjunto de gotitas líquidas' ó de polvo sólido cristalino, y que posee, también por efecto de la condensación, un gran poder emisivo y da origen a un espectro continuo, como creía Wilson; ó bien está formado de gases que, por la gran presión á que estuvieran sometidos gozarían de la propiedad de emitir rayos de todas clases, originando, por tanto, un espectro continuo. Los experimeutos de Chautard han demostrado que, cuando se someten los tubos de Geissler á la acción de imanes poderosos, dan espectros distintos de los que darían sin esta circunstancia. La espectrometría es una ciencia naciente y por lo tanto es preciso no sacar consecuencias prematuras de sus indicaciones.

Para resolver si la corona del Sol es luminosa por si misma se han usado los instrumentos llamados espectroscopio y polaríscopo. La polarización, según se sabe, es la modificación que sufre la luz cuando atraviesa un cristal dotado de doble refracción, ó al caer en una superficie formando ángulo de 35 grados. Polarizados los rayos luminosos por medio de refracción ó reflección no pueden refractarse ó reflejarse de nuevo en ciertas direcciones.

La luz de la corona solar fué estudiada, bajo este punto de vista en 1860 por Prazmowski, y en 1868 por los capitanes Braunfield y Herschel, hallándola todos sensiblemente polarizada; pero algunos astrónomos franceses y americanos han asegurado lo contrario.

Con el polaríscopo de Arago, se ha creído poder determinar si un rayo de luz es reflejado ó refractado, si emana de un cuerpo sólido, líquido ó gaseoso. Se ha distinguido la luz natural que irradia directamente del Sol, de las estrellas y de las llamas, que no se polariza sino a condición de ser reflejada por un plano de cristal, bajo un ángulo de 30° 25', y la luz polarizada que emana espontáneamente de los cuerpos sólidos ó líquidos incandescentes. La luz polerizada viene, según se dice, del interior de esos cuerpos. Pasando de un

medio mas denso á la capa de aire circundante, se refracta en la superficie; una parte del rayo vuelve hacia el interior y se convierte en luz polarizada por reflección, mientras que la otra ofrece los caracteres de la luz polarizada por la refracción. El polaríscopo cromático distingue una de otra esas dos luces, según las situaciones opuestas que ocupan las imágenes coloreadas complementarias.

Merced á experimentos muy delicados Arago ha llegado á inferir que un cuerpo sólido incandescente, por ejemplo, una bala de cañón enrojecida por el fuego, ó bien un metal fundido en estado líquido y luminoso, no emite en una dirección perpendicular á su superficie más que la luz natural; pero que los rayos que parten de los extremos forman un ángulo de emergencia muy inclinado sobre la superficie, están polarizados. Si se quisiera aplicar á llamas gaseosas ese mismo aparato que separa dos clases de luz, no se podría descubrir señales de polarización, por pequeño que fuese el ángulo bajo el cual emanasen los rayos. Aunque también para los gases la luz toma vida en el interior del cuerpo incandescente, en este caso, sin embargo, en razón á la debil densidad de las capas gaseosas, la longitud del camino que los rayos tienen que atravesar, y la oblicuidad de su dirección no parecen disminuir su intensidad ni su número, y la emergencia de sus rayos, y su tránsito á otro medio no producen polarización. Ahora bien, si el Sol no da señal alguna de polarización, cuando se estudia en el polaríscopo la luz que parte de sus bordes bajo ángulos extremadamente pequeños; resulta de esta comparación que lo que brilla en el Sol no procede del cuerpo solar, ni de una sustancia líquida, sino de una envuelta gaseosa y dotada de luz propia.

Según lo que se ha visto el fenómeno de la luz es el mismo cualquiera que sea su origen, ya se considere producida directamente por el Sol, ya provenga de los planetas, ó bien emane de las estrellas ó de la madera podrida, bien de



la actividad de las luciérnagas. Siempre obedece de la misma manera á leyes que le son propias; pero si se someten, como se ha dicho, al análisis prismático luces de diversos orígenes, presentan diferencias en la posición de las rayas oscuras. Las rayas del espectro de Sirio difieren de las del Sol y de las demás estrellas. Castor presenta rayas distintas á las de Polux y Proción. Abrese aquí un ancho campo a las investigaciones del porvenir, puesto que debe todavía distinguirse en los hechos adquiridos la parte que puede pertenecer á las acciones extrañas, principalmente á la acción de la atmósfera.

El problema no se ha resuelto de una manera definitiva, los físicos no han llegado á ponerse de acuerdo sobre el particular. Las divergencias pueden provenir de los instrumentos que se emplean ó del método seguido en la observación. Cuando el aire está cargado de vapores, produce difusiones y refracciones, de donde á veces resultan círculos irizados, que durante los eclipses adquieren extraordinario brillo. Los rayos luminosos pueden también polarizarse al atravesar una gruesa masa de aire húmedo, y de aquí una causa de error en las observaciones de que se trata. Tyndall ha probado, que ciertos vapores difunden y polarizan de un modo notable los rayos que los atraviesan, y además ha visto que también pueden estar polarizados los rayos que pasan entre las nubes á la puesta del Sol. Los hechos por consiguiente no han sido bien comprobados, las circunstancias en que se producen no se han determinado convenientemente, y por último, no hay elementos bastantes para explicarlos, ni sacar consecuencias.

Cuando los físicos analizan la luz del Sol para averiguar si tiene luz propia, analizan esa luz, en la atmósfera, intermedio forzoso de esos experimentos. Ahora bien, según la teoría que se expone en este capítulo, esto es, que la atmósfera posee luz propia, no se niega que el Sol sea un cuerpo caliente ó susceptible al menos de desarrollar calor y lu-

minoso; y que se conduzca como tal respecto de los otros cuerpos. Bien puede el polarískopo demostrar que el Sol tiene luz propia, lo que aquí se sostiene es que durante el día la atmósfera, por efecto del mismo cuerpo central, se hace luminosa; y que este fenómeno hace aparecer, con mayor intensidad de la que realmente tiene, á la luz solar. Por otra parte, ya se ha explicado como los fenómenos caloríficos y luminosos que se observan en el Sol, se deben á la acción que sobre él ejercen los demás cuerpos del sistema. Así es que las acciones son recíprocas, recibiendo cada cuerpo la misma energía que da.

## CAPITULO VII.

**La radiación no es una causa de pérdida, sino una ley de equilibrio de la energía de los cuerpos.**

Una de las principales objeciones para no admitir que el Sol sea un manantial inagotable, es la de que el cuerpo central radía constantemente calor y luz y por lo tanto pierde sus energías. Se ha formado, en lo general, á este respecto, una falsa idea de la radiación: esta no es una causa de pérdida; sino de equilibrio de las temperaturas.

De las leyes de la radiación, si no hubiera otras razones, podría inferirse que el Sol no puede perder sus energías.

El Sol, han dicho los sabios, derrama en todas direcciones, con la más pródiga liberalidad, torrentes de luz y de calor, y la mayor parte de una y otro parece perderse inutilmente en las profundidades del espacio. La Tierra intercepta solo una fracción menor que la 2,000.000,000ª parte del



todo; los demás planetas y la Luna reciben asimismo una fracción insignificante. Sin embargo la energía gastada no disminuye sensiblemente la intensidad solar, es como una gota de agua en comparación del oceano.

Semejante afirmación tiene que ser inexacta; la naturaleza, obra admirable de Dios, saca el mayor efecto de la menor causa posible; es magnífica, sin llegar á ser pródiga. Debe, por consiguiente, buscarse la explicación del problema del Sol en un mecanismo ingenioso.

Suponer esa enorme pérdida de energía solar es un grave error, para convencerse de ello, como se ha dicho, basta consultar en cualquier tratado de Física, en qué consiste la radiación.

«Cuando un cuerpo está situado en un recinto de temperatura más ó menos elevada que la suya, siempre se observa que la del cuerpo sube ó baja progresivamente hasta igualarse con la del recinto; de lo cual se deduce que el cuerpo ha ganado ó perdido cierta cantidad de calor que recibió de los circunvecinos, ó que cedió á los mismos. Trasmítese pues, el calor de un cuerpo á otro por entre el espacio de la misma manera que la luz. Esta propagación del calor, que se produce á todas las distancias y en todas las direcciones, se designa con el nombre de radiación, y se llama absorción la inversa del fenómeno, es decir, la penetración del calor radiante en los cuerpos.

«En el estudio del calor radiante se distingue el calor oscuro y el luminoso; siendo el primero el que emite un cuerpo no luminoso, como un vaso de agua á 100 grados, y siendo el segundo el que emite un cuerpo luminoso, como el Sol ó un fierro calentado al rojo.» (Tratado de Física de A. Ganot, pág. 383.)

Ahora bien, la radiación, impropiamente llamada ley del enfriamiento, es una ley universal: rige en la Tierra y debe regir también en todos los demás cuerpos del Universo.

El espacio no tiene límites pues no se pueden concebir esos límites sin suponer un espacio donde colocarlos; pero el Cosmos es limitado, la cantidad de materia que lo constituye, finita. Lo que acontece en un aposento ó espacio determinado, debe acontecer igualmente en el espacio que ocupa el Universo todo. Los cambios de calor que se verifican entre varios cuerpos en un aposento; se verificarán, por la misma razón, entre los cuerpos del sistema planetario y entre los cuerpos siderales, esto es, entre toda la materia cósmica; si bien conforme á la ley según la cual las fuerzas de la naturaleza decrecen en razón inversa del cuadrado de la distancia. Pero la radiación no puede extender su dominio más allá de los confines del Universo; toda vez que la luz, el calor, la electricidad, etc., son manifestaciones de la materia y donde ésta no existe, es del todo punto imposible que tales fenómenos se produzcan. Si el Sol emite radiaciones que lleguen hasta los otros sistemas, los otros soles radiarán asimismo energías que compensarían la radiación de nuestro cuerpo central, aunque es lo más probable que á tan grandes distancias las influencias mutuas sean de muy poca consideración. Se puede, por consiguiente, prescindir por un momento de esas radiaciones siderales, fijándose únicamente en lo que sucede en el sistema solar; y los razonamientos que se apliquen á dicho sistema, se harán extensivos á otros sistemas y al Universo entero.

¿Qué se ha hecho la enorme cantidad de calor que, según se dice, ha perdido el Sol desde el principio del mundo? Según las leyes de la radiación cuando un cuerpo pierde calor otro ú otros lo adquieren. ¿Se encuentra acaso el calor del Sol en el espacio ó en los demás planetas? Evidentemente que no: en los espacios interplanetarios no hay calor ni hay luz, no hay ni siquiera materia, pues se comparan esos espacios con el vacío que produce la máquina neumática; y si no hay materia no hay gasto, ni menos acumulación de calor



y de luz. No hay recipiente donde se verifique la absorción de aquellos. En los planetas tampoco se observa nada que indique acumulación de calor y por lo que ve á la Tierra se sabe que su temperatura es sensiblemente constante. Luego si los cuerpos que están expuestos á las radiaciones solares no han adquirido calor, es que el Sol no lo ha perdido.

En efecto, ya se ha dicho que no se encuentra prueba alguna de que el calor, del Sol haya variado durante el periodo histórico. Si así fuera, hubiera habido un cambio perceptible, debiendo encontrarse alteraciones correspondientes en la distribución de la flora y de la fauna terrestres, que no se han reconocido hasta aquí.

Si en las primeras edades de la Tierra, según las investigaciones geológicas, ha experimentado grandes cambios en el clima, esos cambios se pueden explicar como ya se indicó, por otras causas. En el periodo carbonífero la temperatura del g obo terrestre debió ser más calurosa que ahora; pero en el periodo glacial las zonas templadas quedaron envueltas, según los géologos, por masas de hielo sólido. Esas variaciones pueden haber sido ocasionadas por cambios de la Tierra misma, ya en la atmósfera, ya en la posición de su eje; como pueden también ser efecto del calor propio del globo, mas esto nada dice respecto de la pasada historia del Sol.

La Tierra posee un calor propio conocido con el nombre de calor central. Así lo demuestran los fenómenos de los volcanes y de los manantiales calientes. Se ha notado también que á medida que se penetra en el interior del globo terrestre, la temperatura aumenta; pero nada demuestra tampoco que la temperatura interior haya tenido en los tiempos históricos alguna variación.

Es muy probable que todos los cuerpos del sistema, inclusive el Sol mismo, tengan aproximadamente la misma temperatura; porque alterado el equilibrio, la radiación tendería continuamente á restablecerlo.

Debe asi mismo dejarse apuntado que las fuerzas magneto-eléctricas obran también conformándose á las leyes de la radiación que se observan en el calor. La semejanza entre unos y otros fenómenos es tan notable que los físicos han llamado al potencial eléctrico, es decir, á la cantidad de energía que acumulan los cuerpos, *temperatura eléctrica*.

## CAPITULO VIII.

**Unidad de las fuerzas fisicas.–El calor, su equivalencia mecánica.–La luz.–El magnetismo y la electricidad.–Teoría de las ondulaciones.**

Se estudiarán es estos dos últimos capítulos las leyes fundamentales que rigen la materia y las fuerzas, esto es, todo el mundo físico; á fin de buscar en esos principios una base más, á la teoría de que el Sol es un manantial inagotable.

Se estudiará primero el principio de la unidad de las fuerzas físicas según el cual el calor y la luz, la electricidad y el magnetismo, no son sino movimientos moleculares; pudiendo obtener la trasformación de unos en otros, de todos ellos en movimiento mecánico, así como también se puede obtener la trasformación de este en aquellos.

La esencia íntima del fenómeno que se denomina calor, es desconocida y aun esa palabra expresa nada más una relación. Así, según las condiciones del propio organismo, los cuerpos exteriores pueden producir la sensación de frio ó de calor. El fenómeno puramente físico del calor se manifiesta, generalmente, en los cuerpos, por un aumento de volúmen; y se mide con el termómetro. Mas este instrumento tampoco da luz sobre la esencia del calor; no es posible determinar donde acaba el calor y donde comienza el frío; las temperataras que se han tomado como límites para graduar las diferentes clases de termómetros, son del todo arbitrarias.



Se ha tratado de buscar la equivalencia del trabajo mecánico y del calor. Calculándose que una bala llegaría á la temperatura del agua hirviendo, que corresponde á 100° centígrados, si cayera de una altura de 1,275 metros. Análogamente, una bala de hierro que cayera de 48 kilómetros de altura, llegaría á la temperatura de 1,000° y al color rojo; sería, pues, á la vez, caliente y luminosa. Este efecto se obtendría también dando á la bala la velocidad de 974 metros y deteniéndola de pronto por medio de un cuerpo no elástico.

Tales resultados son independientes de la masa de los cuerpos. Por consiguiente, una molécula de hierro que, en cualquier circunstancia, perdiera una velocidad de 974 metros, llegaría á la temperatura de 1,000° y á hacerse luminosa.

No sólo el movimiento vibratorio que constituye el calor calienta más y más los cuerpos á medida que se aumenta su velocidad, sino que produce también los siguientes efectos:

1º Creciendo la energía vibratoria las moléculas se rechazan y aumentan el volumen de los cuerpos; 2º siguiendo en aumento el movimiento, los cuerpos cambian de estado, esto es, pasan del estado sólido al líquido y de este al aeriforme; y 3º la velocidad de vibración llega á un límite, más allá del cual, como el equilibrio molecular está destruido, se disocian los cuerpos; esto es, hay descomposición porque los cuerpos no obedecen ya á ninguna afinidad. Si disminuye la rapidez del movimiento vibratorio, se producen fenómenos inversos.

Hay que considerar en el calor el trabajo interno y el trabajo externo. Conforme á la teoría dinámica las moléculas de los cuerpos poseen siempre cierta cantidad de fuerza viva, la cual se divide en dos partes, una que calienta el cuerpo aumentando la velocidad de las vibraciones moleculares, y otra que desaparece como calor sensible y no calienta el cuerpo, pero le dilata, esto es, separa sus moléculas, las cuales cambiando de lugar y ejerciendo un esfuerzo capaz de vencer las fuerzas que las unen, producen un verdadero trabajo en el sentido que se da á esta palabra en mecánica.

Así pues, el trabajo interno es el que se emplea para vencer las fuerzas moleculares que unen las partículas de los cuerpos, trabajo considerable en los sólidos, débil en los líquidos y nulo en los gases.

El trabajo externo es el que consiste en dominar las resistencias exteriores que se ejercen sobre los cuerpos. Con efecto todo cuerpo para dilatarse debe dominar la presión atmosférica que en todos sentidos le comprime.

La porción de calor que produce el calentamiento persiste, según enseña la Física, en estado de fuerza viva molecular; y en cuanto á la otra que desaparece para producir el trabajo interno y externo, no queda destruída, sino trasformada en trabajo; pues todo movimiento es indestructible y no puede hacer más que modificarse ó comunicarse de un cuerpo á otro. En todo caso, el calor trasformado así en trabajo, está sometido á la ley que se observa en todos los fenómenos de termodinámica, á saber: *A toda cantidad de calor que ha desaparecido carresponde cierto trabajo producido, y recíprocamente, á todo trabajo hecho corresponde un desprendimiento de calor determinado.* A mayor abundamiento existe siempre una relación constante entre las cantidades de calor y de trabajo que se trasforman así una en otra. De aquí ha nacido la idea de buscar la equivalencia del calor y del trabajo mecánico.



La palabra calor designa cierto efecto que es posible medir, sin que sea preciso averiguar la causa ó fuerza que lo produce.—Un cuerpo que se calienta adquiere cierta actividad ó energía que le hace apto para ciertos fenómenos. Se toma como unidad para medir la equivalencia mecánica del calor la cantidad que se necesita de aquel para elevar la temperatura de un kilógramo de agua de 0 á 1 ° grado, que es lo que se llama caloría.

Uno de los métodos más sencillos para determinar el equivalente mécanico del calor es el siguiente: Dispónese, á una altura de 3 ó 4 metros, un vaso que contiene mercurio y que está cerrado por una llave provista de palanca, á fin de que sea fácil abrirla y cerrarla sin elevarse á esa altura. Sobre la misma vertical, debajo del vaso, se coloca otro vaso de hierro y que contiene también mercurio. Se establece un circuito termo-eléctrico con ayuda de dos soldaduras que penetran respectivamente en el mercurio de cada uno de los vasos y de un galvanómetro. Después de adquirir, por medio de la aguja de este, la seguridad de que los dos vasos están á la misma temperatura, se abre la llave: el mercurio caé en el vaso inferior y pierde en él la velocidad que había adquirido durante la caída, sin producir trabajo alguno apreciable. Inmediatamente se vuelve la aguja de galvanómetro, indicande que el vaso inferior se va calentando. Concíbese la posibilidad de medir la evelación de la temperatura y de deducir de ella, según las reglas de la Física, el número de calorías creadas. En cuanto al trabajo aniquilado, se obtiene multiplicando el peso del mercurio caído por la altura de la caída.

Entre el trabajo perdido y el calor creado, hay pues, una relación de causa á efecto, el trabajo se convierte en calor. Recíprocamente se ha comprobado, que sea en las máquinas, sean en los fenómenos físicos, y aun en la economía animal, toda cantidad de fuerza viva que desaparece como

calor, se reproduce en trabajo mecánico. Nadie ignora que el calor mueve las máquinas de vapor; que un cuerpo que al calentarse se dilata, puede vencer la resistencia de un obstáculo; que un sólido se derrite y un líquido se vaporiza por la acción del calor. Todos estos son ejemplos de trabajo resistente producido.

Con una máquina de vapor se eleva una carga, cuyo peso multiplicado por la elevación, da la medida del trabajo.

Con arreglo á la teoría de la termo-dinámica no hay en realidad mas de un solo manantial de calor: el movimiento dado á las moléculas de los cuerpos.

Se va á estudiar ahora la luz en cuanto se puede penetrar su naturaleza íntima para establecer la relación que tiene dicho fenómeno con los otros agentes físicos.

La luz es una sensación que se experimenta cuando los cuerpos colocados ante los ojos se hayan en un estado particular; obran entonces sobre el órgano de la visión, exitándolo de cierto modo que revela su presencia.

La luz, por consiguiente, es ante todo una sensación, esto es, un fenómeno de orden psicológico. El sonido es también una sensación producida en el oído por un cuerpo que vibra, pero, así como puede estudiarse el fenómeno del sonido fuera del yo, observando las modificaciones que sufren los cuerpos á fin de hacerse aptos para producir la sensación acústica, del mismo modo se puede estudiar la luz en los cuerpos y buscar sus modificaciones en los fenómenos luminosos. Y esas leyes deben ser inteligibles hasta para el que nunca ha visto la luz.

Considerando, por ejemplo, el Sol como fuente de luz, se sabe que no ejerce acción sobre los cuerpos durante la noche, pero en el día, al hacerse visibles los cuerpos, se distinguen unos de otros por sus formas, posiciones y tamaños, así como por sus colores y aspectos.

Cada cuerpo al recibir la luz la modifica de cierta manera de donde resultan los diferentes colores, no obstante ser uno solo el manantial luminoso.



Los cuerpos no luminosos, llegan á serlo, aunque con la condición de estar iluminados, y; la luz que emiten en todas direcciones es la que los hace visibles. Pero esa luz que envían por reflección tiene un caracter especial: un cuerpo rojo envía rayos rojos; un cuerpo azul envía rayos azules, etc.

Esta reflección se ha llamado reflección irregular ó difusión para distinguirla de la reflección regular que se obtiene con los cuerpos bruñidos ó pulimentados.

Es de observar que los rayos regularmente reflejados no sufren las mismas modificaciones que los difusos. Apenas tienen color: así, los rayos solares regularmente reflejados por una placa de oro pulimentada son casi incoloros, aunque el color del oro visto solo por difusión, el del oro en polvo impalpable, tal como es posible obtenerlo por los procedimientos químicos, es rojo.

Aunque generalmente se distinguen los cuerpos opacos de los trasparentes y traslúcidos, ya se indicó que no existen cuerpos verdaderamente opacos, pues todos más ó menos se dejan atravesar por la luz como resulta de los experimentos de Foucolt. De aquí se deduce que el movimiento vibratorio que constituye la luz se comunica á la masa de todos los cuerpos, ó en otros términos, que todo cuerpo que sufre la acción de la luz tiende á participar de ese movimiento, tiende á hacerse luminoso aunque no adquiera en todos los casos la intensidad requerida para que la conciencia humana, por medio del órgano de la vista, registre el fenómeno.

Se estima que la Física moderna ha realizado un considerable progreso al descubrir la identidad del calor y de la luz.

Se sabe que estos dos agentes van casi siempre juntos y si bien puede haber fenómenos luminosos sin una eleva-

ción considerable de temperatura hay una paridad tan grande entre ambos fenómenos como puede haberla entre la luz de color violeta y la de color verde.

En efecto el calor se refleja y se refracta según las mismas leyes que determinan la reflección y refracción de la luz y se repite con los rayos del calor el mismo experimento del espectro de la luz

Para descomponer los rayos caloríficos procedentes del Sol, se emplea un prisma de sal gemma y se reciben los rayos, á la salida del prisma sobre una pequeña pila termoeléctrica que presenta una cara muy estrecha, la cual se coloca sucesivamente en los siete grupos de rayos luminosos.

Hé aquí lo que se observa:

El calor refractado crece desde el color violeta hasta el rojo; y si se lleva la pila más allá de este, en la prolongación del espectro, se encuentra calor, más intenso que en el espectro mismo.

Dedúcese de aquí que los rayos caloríficos del Sol son descomponibles en rayos sencillos, distintos unos de otros por su intensidad y refrangibilidad, y que el prisma de sal gemma da un espectro calorífico superpuesto en parte al luminoso, aunque más extenso.

Se ha tratado de averiguar si los rayos caloríficos y luminosos están solo yuxtapuestos ó si debe admitirse que cada rayo solar posee una actividad única que dá á la vez calor y luz.

Para resolver esta cuestión se han medido minuciosamente las modificaciones experimentadas por los rayos caloríficos y luminosos, reflejados y refractados en gran variedad de circunstancias, y se ha reconocido que toda modificación de un rayo luminoso lleva consigo otra idéntica del rayo calorífico concomitante.

A los fenómenos variados de la óptica corresponden



los del calor siguiendo las mismas leyes, en términos que no hay razón para suponer que los rayos de calor y los de luz sean distintos. Al contrario, todo se explica y encadena con notable sencillez si se admite la identidad de ambas especies de rayos.

Un rayo simple, suficientemente refrangible, lleva calor á los cuerpos y al mismo tiempo los hace aptos para producir los efectos luminosos, es decir para actuar sobre la vista de un modo determinado. Así, un rayo rojo simple en una mole de vidrio ordinario determina una modificación tal que este último se convierte en teatro de fenómenos caloríficos, y además su acción produce por medio de los ojos la sensación de la luz roja. Un rayo menos refrangible que el rojo produce menos calor y otro color. El cuerpo sufre siempre la misma modificación, pero ésta en distinto grado, del cual depende la sensación óptica. En otros términos, los ojos solo producen impresiones con los rayos bastante refrangibles.

Prescindiendo de hipótesis más ó menos aventuradas, pueden enunciarse sencillamente como verdades físicas las siguientes proposiciones:

Los rayos de calor y de luz son de diversas especies, explicándose la diversidad de los manantiales por la de los rayos que emanan de ellos. El medio de estudiar experimentalmente esta diversidad consiste en descomponer la mezcla de los rayos por medio de un prisma.

Así, cuando se recibe sobre un prisma la luz de un manantial distinto del Sol, no suelen salir del prisma más que ciertos grupos de rayos.

Cuando los rayos de un manantial encuentran un cuerpo, éste adquiere cierta cantidad de energía, y después emite rayos hácia los otros cuerpos, ya por reflección ya por refracción. Los rayos absorbidos, reflejados ó refractados, son de especies y están en proporciones diferentes, según la

naturaleza del manantial y del cuerpo, de las cuales depende también la dirección de los rayos refactados.

Se expresan estos hechos diciendo que tal cuerpo tiene una potencia absorbente y una potencia reflectora determinadas para cada especie de rayos. Este lenguaje tiene la ventaja de recordar los hechos observados, sin necesidad de figurarse la constitución de los cuerpos, lo cual basta para las aplicaciones de la Física.

Así, el vidrio ordinario absorbe las rayos oscuros, los menos refrangibles que el rojo, y deja paso á los demás, sin absorción notable. Los vidrios de color absorben todos los rayos que no tienen el suyo.

Todo lo que se acaba de decir relativamente á la luz enseña que los manantiales luminosos son centros de actividad, que crean energía en forma de calor y la radían hácia los cuerpos circunstantes. Bajo la influencia de esta actividad, se establecen relaciones particulares entre todos los cuerpos de la naturaleza, pudiendo decirse que su radiación es una revelación mútua.

La fuerza que así pone en movimiento las moléculas de los cuerpos, á distancias inmensas del manantial, tiene un carácter muy distinto de la atracción.

Se pasará ahora al estudio de otro agente físico, electricidad ó magnetismo, en sus relaciones con los otros agentes.

Tales, filósofo griego que floreció seiscientos años antes de la era cristiana había observado la propiedad que tiene el succino ó ámbar frotado de atraer los cuerpos ligeros. Numerosos sabios se ocuparon desde el siglo XV en estudiar los fenómenos eléctricos.

Franklin, en 1752, demostró que el trueno, los relámpagos y el rayo reconocían la misma causa que los fenómenos eléctricos y á Galvani médico y catedrático de Bolonia se debe el experimento que hizo descubrir la electricidad dinámica.



Consiste dicho experimento en poner en contacto los nervios lumbares de una rana muerta por medio de un arco metálico, con los músculos crurales: se observa una contracción enérgica. Galvani atribuyó el fenómeno á una electricidad inherente al animal, pero esta teoría encontró opositores entre ellos á Volta.

La electricidad se manifiesta por atracciones y repulsiones, apariencias luminosas, calor, descomposiciones químicas y otros fenómenos.

Por lo que se refiere al magnetismo los antiguos conocían ya una piedra negra ó parda que atraía el hierro; se le hallaba en una montaña de Lydia, cerca de Magneria de donde procede el nombre de magnetismo que se da al conjunto de fenómenos que presenta dicha piedra. En la Edad Media la designaban con el nombre de piedra del Indo, y hoy recibe generalmente el de piedra imán.

El imán, como ya se ha dicho, atraé las limaduras de hierro y presenta al menos dos centros de atracción dotados de propiedades antagonistas.

Un cilindro de hierro colocado junto á un imán, se convierte en otro imán, los polos más próximos de ambos imanes son de nombres contrarios. El hierro así colocado es un imán temporal, que pierde sus propiedades al alejarse del imán permanente.

En el experimento de la fantasma magnética, cada grano de limadura es un pequeño imán temporal, y dos granos consecutivos se atraen por sus polos contrarios. Hay una gran semejanza entre el fenómeno del hierro que se imanta por la influencia de un imán y la electricidad por influencia.

La identidad del magnetismo y de la electricidad es un principio también adquirido por la ciencia.

El descubrimiento del magnetismo de rotación que hizo Arago ha demostrado el hecho de que indistintamente

toda materia es capaz de fuerza magnética y los trabajos de Faraday sobre las sustancias diamagnéticas, ha venido á confirmar de importante resultado.

Ampére descubrió la verdadera analogía que existe entre el magnetismo y la electricidad, refiriendo á una misma causa fenómenos antes atribuidos á causas distintas. Actualmente todos los físicos están de acuerdo en considerar el magnetismo y la electricidad como manifestaciones de una solo fuerza inherente á toda materia.

La identidad del calor y de la luz con la electricidad ha sido igualmente demostrada.

El calor produce electricidad y viceversa la electricidad produce calor ó más bien dicho ambos fenómenos van con frecuencia juntos, como lo demuestran las corrientes termo-eléctricas, en el experimento de Seebeck.

La teoría de la pila termo-eléctrica demuestra que el calor no es la causa de la electricidad, ni es ésta la de aquel según el significado que á la palabra causa se da ordinariamente en Lógica. Si la electricidad no apareciera hasta después que el calor hubiera desaparecido se estaría autorizado para decir que el calor se trasformaba en electricidad, como la causa material se transforma en su efecto desapareciendo á medida que el efecto aparece.

Se sabe por otra parte, que producida la electricidad por cualquir medio se produce asimismo el calor que por consiguiente debe considerarse como una manifestación especial de la misma energía.

La sola diferencia de temperaturas en las partes de un mismo cuerpo, esto es, el calor solo produce ó constituye una corriente eléctrica. El calor y la electricidad no son, pues, dos fenómenos sucesivos ó causa uno del otro; sino dos fenómenos simultáneos, dos manifestaciones de la misma fuerza.

Siendo, como es el Sol centro de fuerzas magnéticas ó



eléctricas, estos mismos fenómenos que por la acción del cuerpo central se desarrollan en los planetas van mezclados ó acompañados de fenómenos caloríficos y luminosos.

La recomposición de las dos electricidades á cierta tensión se verifica siempre con un desprendimiento más ó menos grande de luz: tal es lo que sucede cuando se sacan chispas de la máquina eléctrica, de la botella de Leiden y de las baterías. Un rayo de luz cualquiera es atraído por un imán que le puede imprimir un movimiento rotatorio. En la luz, por tanto, es posible estudiar las leyes que rigen los fenómenos eléctricos.

De todo lo expuesto se deduce el principio de la unidad de las fuerzas físicas según el cual, el calor, la luz, la electricidad y el magnetismo son manifestaciones de una sola energía; movimientos moleculares que no se excluyen unos á otros pudiendo manifestarse juntos de la misma manera que en la luz blanca están juntos todos los colores del espectro.

Así lo establece la teoría denominada *teoría dinámica* que ha venido á sustituir en la ciencia á la antigua doctrina de los *fluídos imponderables*. Esta última admitía un agente especial para cada clase de fenómenos, uno para el calor, otro para la luz, dos para el magnetismo y dos para la electricidad. En la teoría dinámica se admite un solo movimiento propio de las moléculas de la materia, el cual varía de forma y de velocidad: tal movimiento de una naturaleza determinada constituye el calor; tal otro movimiento la luz; otro diferente de forma y de carácter la electricidad y el magnetismo.

La nueva teoría ha recibido también el nombre de teoría de las *ondulaciones*; porque se admite que los movimientos que constituyen los fenómenos físicos se propagan, como el sonido, por ondas semejantes á las que se forman cuando se arroja, por ejemplo una piedra, contra la superficie tranquila del agua. Como se sabe se produce alrededor

del punto en que caé la piedra una prominencia que se aleja poco á poco de él, aumentando uniformemente de radio.

En el punto tocado se produce una depresión; el agua inmediata forma una especie de casquete alrededor de la depresión, de manera que, por una parte, descienden algunas moléculas, mientras que, por otra se elevan sus inmediatas; esto resulta de la débil compresibilidad del agua, así como del tiempo que el impulso invierte en propagarse. Las moléculas llegan así á cierta distancia del centro de conmoción. Si se considera una capa líquida situada fuera y al pié de la prominencia circular, esta capa empieza á elevarse á medida que el líquido más próximo al centro vuelve á bajar en virtud de la gravedad, y pronto se haya á tal altura que la gravedad pueda destruir el efecto de la velocidad adquirida; detiénese entonces y forma una nueva prominencia circular cuando ya no existe la precedente. Puede decirse que esta se ha deprimido sobre sí misma por efecto de la gravedad, y que ha levantado el agua á su alrededor por el efecto de las fuerzas moleculares. La segunda prominencia cae á su vez, trasmitiendo el impulso á la capa de agua que la rodea; esta forma una tercera prominencia de radio mayor, y así sucesivamente. La continuidad de estos efectos produce en el ojo del observador la apariencia ya conocida.

El ancho de la prominencia recibe el nombre de *onda líquida*, y en lenguaje figurado se dice que la onda se propaga uniformemente alrededor del centro de conmoción. Cada molécula líquida parece adquirir cierta cantidad de energía en el momento en que la onda la alcanza, y acto contínuo trasmite esa energía á una molécula próxima á caer. La propagación de la energía se opera así por las ondulaciones, sin pérdida ni ganancia.

Supóngase ahora que el centro de conmoción se altera de nuevo del mismo modo que antes, en el momento en que iba á entrar en reposo, y que continúa produciéndose el mismo efecto. Cada uno de los impulsos dados al centro producirá una onda; así se obtendrá una serie de ondas que se sucederán uniformemente, presentando la superficie del agua prominencias circulares igualmente esparcidas, que aparentemente pasarán por cada punto de la superficie con un movimiento centrífugo. Una molécula líquida situada en este punto se levantará y deprimirá, pues, alternativa y continuamente oscilando á uno y otro lado de una posición media, en el sentido de la vertical.



Ahora bien, por lo que se refiere al calor, la antígua teoría de la emisión sostenida por sabios ilustres, tales como Newton, Lavoisier, Laplace, y Gay-Lussac consiste en explicar el calor por la hipótesis de un fluido material, imponderable, incoercible, llamado calórico; y en tal hipótesis los átomos del calórico en constante estado de repulsión son proyectados en todas direcciones y á todas distancias, almacenándose en cantidad variable en los cuerpos y oponiéndose al contacto inmediato de sus moléculas. Mas esta doctrina de la materialidad del calor se haya hoy abandonada y los físicos modernos están de acuerdo en reemplazarla por la hipótesis de las ondulaciones en cuya virtud las moléculas de los cuerpos se encuentran animadas de un movimiento de vibración muy rápido que es causa del calor y se trasmite propagándose el calor como las ondas sonoras en el aire.

Aunque está adoptada la teoría dinámica, se ha conservado el lenguaje propio de la teoría de la emisión; y de un cuerpo que se calienta ó se enfría, se continúa diciendo que gana ó pierde calor; pero realmente debe entenderse por esto que sus moléculas están animadas de tal ó cual movimiento.

Las mismas dos hipótesis fundamentales que se han estudiado respecto al calor, se han emitido también acerca de la naturaleza de la luz. La teoría de la emisión ha sido imaginada por Newton quien suponía que los cuerpos luminosos, tales como el Sol, lanzaban fuera de sí, en todas di-

recciones, corpúsculos extremadamente pequeños, que cuando llegaban á herir la retina del ojo producían la sensación de la luz.

La teoría de las ondulaciones que ha venido á sustituir á la antigua establece que un cuerpo luminoso es un cuerpo cuyas moléculas ejecutan vibraciones las cuales se propagan en el aire atmosférico ó en el medio enrarecido que ocupa los espacios planetarios.

Para completar la teoría de las ondulaciones han admitido los físicos la existencia de un fluído imponderable que llaman *éter*, que se supone esparcido por todo el Universo y que penetra la masa de todos los cuerpos.

Intencionalmente se ha omitido hablar hasta hoy del éter cuya existencia probablemática recuerda la falsa teoría del flogisto.

Lo único que se puede afirmar á este respecto es que en los espacios celestes debe existir algún medio para poder explicar las influencias mutuas de los cuerpos; que ese medio se encuentra sumamente enrarecido al grado de que se puede comparar con el vacío. Pero ese medio es probable que tenga las mismas propiedades que la demás materia; y si no es una sustancia conocida será al menos cognoscible ó susceptible de ser conocida.

El eter tal como la ciencia lo describe; ese fluido imponderable, invisible, insecuestrable, cuyas propiedades no ha llegado á descubrir el físico y que el químico no puede encerrar en su matráz, vendría á ser según los caracteres que se le atribuyen, como una alma del Universo, más bien que una sustancia material.

Será tal vez más conforme con los principios de la sana filosofía decir que hay algo en las manifestaciones del mundo físico que no se ha podido comprender, que no inventar para explicar ese misterio un agente misterioso é inexplicable el mismo.



Para terminar se hará presente que en la teoría de la emisión se supone que los cuerpos luminosos, calientes, electrizados pierden sustancia; y á primera vista podrá pensarse que según el sistema de las ondulaciones sufren los cuerpos pérdida de su energía cuando se verifican en ellos los fenómenos físicos. Mas estudiando con atención los hechos se puede comprender que así como no hay pérdida de sustancia al producirse los fenómenos mencionados, tampoco hay pérdida de energía. En efecto se observa desde luego que la energía existe en cada cuerpo en potencia; y esa energía no llega á actualizarse, sino en tanto que se presenta otro cuerpo cuya masa reacciona á su vez sobre el primero.

Considerando, por ejemplo, la fuerza atractiva, se sabe que se ejerce por los cuerpos, en determinadas circunstancias, á toda distancia y en todas direcciones; pero el fenómeno no puede verificarse sino allí donde hay otra porción de materia capaz de recibir la acción y de corresponderla; y respecto de aquellos lugares en que no existe materia la energía del cuerpo que atraé existe solo en potencia.

Una cosa semejante acontece con los fenómenos caloríficos y luminosos: ya se dijo que únicamente allí donde se encuentra una porción sensible de materia es donde aparecen esos fenómenos.

Las mismas fuerzas químicas permanecen latentes, el carbón v. gr., tiene como almacenada energía la cual solo se manifiesta en presencia del oxígeno. Las ideas expuestas quedarán confirmadas con lo que se diga en el capítulo siguiente.

## CAPITULO IX.

**Principios de la conservación de la materia y de la conservación de la fuerza.—Principio de la coexistencia de la materia y de la fuerza.—La materia no puede perder su energía.—El radio.**

El antiguo principio de Anaxágoras, de que lo que existe en el Universo no aumenta ni disminuye y que lo que se llama aniquilamiento no es otra cosa que el cesar de combinaciones anteriores, ha sido elevado en los tiempos modernos, á la categoría de una verdad científica.

Lavoisier, verdadero fundador de la Química, demostró que *el peso de un compuesto es igual á la suma de los pesos de los componentes*, dotando así á la Química de un método científico que permite seguir á los cuerpos en las diferentes modificaciones que experimentan, sea al unirse, sea al separarse, llegando á comprobar este principio fundamental: «Nada se pierde, nada se crea.»

Hasta que se empleó en los laboratorios la balanza y hasta que se llegó á medir el volumen y á pesar los cuerpos que entraban en las mezclas y combinaciones se dió á la Química el caracter de ciencia fundándose siempre en el gran principio de lo conservación de la materia.

Así se llegó, por ejemplo, á descubrir la verdadera composición del aire. Este que los antiguos consideraban como un elemento indescomponible, puede separarse obteniéndose otras dos especies de *aires invisibles*, que difieren esencialmente por sus propiedades; y que son el *oxígeno y el ázoe*.

Es facil reconocer esos dos diferentes gases invisibles por las cualidades que les son propias, por el olor, el sabor y



una multitud de fenómenos particulares que se desarrollan cuando se ponen en contacto con ellos, otros cuerpos visibles.

Así dos probetas ó campanas llenas una de oxígeno y la otra de ázoe no presentan á la simple vista ninguna diferencia; pero si se introduce en una de las probetas un fósforo encendido se ve que se apaga inmediatamente, mientras que si se introduce en la otra probeta el fósforo despide una luz muy intensa.

Si en vez de una cerilla se introduce en una de las campanas algún animalito, por ejemplo un gorrión, se ve que en el recipiente que contiene oxígeno el ave se mueve, salta, vive como en el aire; mientras que el gorrión sumergido en el ázoe caé sin movimiento y muere asfixiado sino se le saca pronto al aire.

Así el aire atmosférico presenta un hecho singular, está compuesto de dos gases que tienen propiedades enteramente contrarias: uno destinado para la respiración de los animales y la combustión y el otro impropio para mantener la vida y en el cual se apagan los cuerpos inflamados.

La composición del aire permaneció desconocida hasta como el año de 1775; se le consideraba todavía en esta época como una sustancia simple.

El descubrimiento del oxígeno se debe á Priestley; pero Lavoisier determinó las propiedades de ese gas. Antes de él se admitía, según la teoría de Beccher y sobre todo de Ernesto Stahl su discípulo, que un cuerpo calcinado había perdido un fluído inflamable llamado *flogisto*, de tal suerte que ese cuerpo así despojado de dicha sustancia no podía arder de nuevo. Por ejemplo el mercurio calcinado en el aire se transforma en un polvo rojo; se decía que el polvo rojo era mercurio despojado de flogisto, y que el mercurio *puro* era ese mismo polvo rojo combidado con el flogisto.

Para que esta teoría fuese verdadera sería preciso que el mercurio despojado del flogisto, llegara á ser más ligero,

y por el contrario se hacía más pesado; sucedía en efecto, que en vez de perder algo absorbía una porción del aire.

Bayen puso fuera de duda, por medio de una experiencia decisiva, esa unión del aire con el metal que se calcina. Calentando en un vaso cerrado polvo rojo de mercurio, obtuvo un gas, y el mercurio reapareció con su brillo ordidario.

Priestley repitió la experiencia y estudió el gas obtenido. Entre tanto Lavoisier preparaba desde hacía algún tiempo la doctrina que debería establecer después, y conociendo los resultados publicados por Bayen y por Priestley, sospechó que el aire era un compuesto de varios gases. Calentó un peso determinado de mercurio con un volúmen de aire conocido, obteniendo el polvo rojo de que se ha hablado. Lavoisier midió después y examinó lo que quedaba en el aparato; viendo que esa especie de gas-residuo apagaba los cuerpos inflamados y era irrespirable. Era el ázoe ya conocido. Hizo entonces la contraprueba recogiendo con cuidado la película roja que cubría el mercurio; la calentó á 400 ° en un vaso cerrado, y vió reaparecer el metal y desprenderse un gas que era el oxígeno cuyas propiedades ya se describieron.

Después de haber medido con cuidado el volúmen, dedujo de su experimento, el ilustre químico, que el aire estaba formado de una mezcla de 27 partes de oxígeno y de 73 partes de ázoe, si bien otras experiencias precisas y repetidas han dado una proporción un poco diferente de la que encontró Lavoisier.

Así pues en todas las mezclas y combinaciones químicas se verifica el principio de que en la naturaleza nada se pierde ni nada se crea.

El principio de la conservación de la energía es igualmente verdadero. Enseña la Física que cuando un cuerpo ó un sistema de cuerpos se encuentra sustraído á toda acción exterior (calor, electricidad, luz....), su energía total per-



manece constante; la energía actual y la energía potencial varían siempre, en sentido inverso, de una misma cantidad.

Este principio es general y para un caso particular se razona así: Un cuerpo de masa $m$, de peso P$=$m g, caé de una altura $h$ con una velocidad inicial nula. Al partir su energía de posición relativamente al suelo [energía potencial] es $m\ g\ h$; su fuerza viva de traslación es nula. Al cabo de cierto tiempo, ha recorrido un espacio $e$, y, según una fórmula conocida, su velocidad ha llegado á ser $v=\sqrt{2\,g\,e}$; la energía potencial ha disminuído $m\ g\ e$, pero la energía actual ha aumentado $\frac{1}{2}\,m\,v^2 = m\ g\ e$; la energía total ha, por consiguiente, permanecido constante.

Cuando una masa de plomo caé al suelo, desde cierta altura, su fuerza viva se aniquila sin que haya aumentado de energía potencial; mas, en este caso, el plomo se calienta es decir aparece calor. Ya se ha visto que por cada cantidad de energía que aparentemente desaparece, aparece siempre una misma cantidad de calor. La energía no desaparece pues jamás: se transforma, pero es indestructible como la materia.

Las especulaciones científicas han revelado parte de los fenómenos que se verifican en la materia, mas la constitución íntima de aquella permanece desconocida. Los sabios contemporáneos anuncian haber encontrado el número de moléculas que contiene un cuerpo, el peso de cada una de esas moléculas, sus movimientos, etc. (Véase «Ce que disent les choses», por Painlevé, Perrier y H. Poincaré, pág. 95); pero en seguida hacen la observación de que cada molécula es como un pequeño Universo compuesto de una infinidad de partes, y que cada átomo es comparable á un pequeño sistemo solar, esto es, confiesan que el elemento último de la materia no se conoce.

El problema de las relaciones que pueden existir entre la materia y la fuerza es tan arduo como el problema que

se propone resolver la Metafísica cuando estudia las relaciones del espíritu con el cuerpo.

El autor de la teoría de la gravitación universal dice que habla de esta fuerza como de un hecho demostrado por la observación, mas no señala su causa, ni afirma que la materia atraé á la materia, concretándose á decir que los fenómenos se producen como si la materia se atrajera.

Según las propiedades que presenta, la materia es inerte y son ideas incompatibles el admitir que la materia es inerte y que se atraé.

Esto indica que no se conoce sino la corteza de los fenómenos.

Fundándose en los métodos lógicos puede llegarse á demostrar que entre la materia y la fuerza existe cierta relación que algunos podrían tomar como una relación causal. Debe sin embargo advertirse que la palabra causa expresa muchas veces una relación desconocida y diferente según los casos: así se dice que el calor es la causa de la dilatación de los cuerpos; que tal abono es la causa de la vegetación de un cereal determinado; mas no obstante de esto el fenómeno sigue siendo desconocido. En estos casos se concede á los métodos inductivos un alcance que realmente no tienen; porque cuando se cree haber hallado una relación de causalidad solo se puede afirmar con todo rigor lógico que existe una ley de coexistencia. Nada adelantaría el entendimiento con afirmar que la materia es la causa de la energía; toda vez que no se podría explicar cual era el significado de dicha expresión.

Sentado esto he aquí los razonamientos que sugieren los tratados de Lógica.

Entre los métodos inductivos hay uno que se denomina método de las variaciones concomitantes. Stuart Mill lo ha formulado así: «Un fenómeno que varía de cierto modo, siempre que otro fenómeno varía de la misma manera, es



causa ó efecto de este fenómeno, ó está ligado á él por alguna relación causal.»

La prueba de la causalidad se funda, en este método, en el aumento ó disminución proporcional de un fenómeno, á medida que otro fenómeno aumenta ó disminuye.

La cuestión presente consiste en averiguar si, en cierto modo, los agentes físicos son propiedades inherentes á la materia, si esta y los agentes naturales son dos hechos que existen juntos, que aumentan y disminuyen en la misma proporción.

En el método de las variaciones concomitantes si se tiene un grupo de circunstancias antecedentes A B C y un grupo de circunstancias consecuentes D E F, si se hace variar una de las circunstancias antecedentes, por ejemplo A, de manera que llega á ser $\frac{A}{2}$ ó 2 A ó $A^2$ y que al mismo tiempo una de las circunstancias consecuentes por ejemplo B, varie de la misma manera siguiendo constantemente de una manera directa ó inversa las variaciones de A, se puede decir que entre A y B existe, en cierto sentido, una relación de causalidad.

Así es como Jorge Ville ha demostrado que el ázoe es el elemento más importante de la vegetación del trigo.

Se hace v. gr. cuatro series de experiencias paralelas.

En la primera se agrega á la tierra ázoe, fosfato de cal y potasa, que es el abono completo. Se obtiene una buena cosecha.

Si se aumenta, en otro experimento, la dosis de fosfato de cal: la cosecha no aumenta ni tampoco disminuye.

Si se aumenta la dosis de potasa: nada se consigue, el resultado es idéntico.

Pero si se dobla la dosis de ázoe, sucederá otra cosa, la cosecha acrecerá de una manera inesperada. Este resultado se puede expresar en números.

Así pues la inducción consiste en distinguir en una

confusión de circunstancias diversas cuyo conjunto constitu- el fenómeno, las circunstancias importantes, verdadaramente significativas, y descubrir sus relaciones.

Ahora bien los fenómenos de la energía se muestran con la materia, desaparecen cuando ella desaparece y sufren los mismos cambios. Hay en efecto una fuerza que parece inherente á la materia, cualquiera que sea su forma, estado y condiciones. Dicha fuerza reside en cada molécula de todos los cuerpos y obra unas veces por atracción y otras por repulsión sobre las demás moléculas. Siendo esto así, resulta que si se toma por unidad de fuerza la que reside en una molécula, en dos moléculas la fuerza será como dos, en *n* moléculas, será *n* veces mayor; en otros términos, la fuerza inherente á la materia es proporcional á la masa.

Empleando estos ó análogos razonamientos formuló Newton su primera ley, refiriéndose en ella solo á la atracción. Según se ha visto la repulsión no es una fuerza distinta de la atracción, sino la misma obrando en diferente sentido y se ha formulado una ley general diciendo: que la fuerza atractiva ó repulsiva de la materia está en razón directa de las masas.

No se puede concebir la materia sin la fuerza, privada de ésta estaría como muerta ya que no sería susceptible de recibir ni de comunicar movimiento, de ser agente ó recipiente de los diferentes fenómenos físicos; si la masa disminuye disminuye igualmente la energía, siempre en la misma proporción; y finalmente donde no hay materia no puede haber manifestación de fuerza molecular ninguna.

Luego si no se quiere afirmar que la materia sea la causa de la energía ó esta lo sea de aquella, si se tiene al menos derecho de concluir que entre una y otra hay una relación de coexistencia, lo cual basta para nuestro objeto. Se comprende mejor la ley de las masas si se recuerda lo que significa la palabra masa.



La reunión de dos cuerpos idénticos A y A constituye un cuerpo único B, cuya masa es doble de la de cada uno de los primeros; si la masa de A es 1, la de B será 2. Supóngase que el cuerpo B de masa 2 se reduce á la mitad del volumen: su masa no se habrá alterado; constituirá un nuevo cuerpo C del mismo volumen que el cuerpo A, pero de masa doble.

Ahora se concibe que un cuerpo cualquiera tenga una masa que depende de su volumen y del grado de condensación de sus moléculas, y que esa masa pueda representarse por un número, cuando se haya tomado por unidad la masa de un cuerpo determinado y se haya encontrado la relación de estas dos masas.

Aplicando las ideas expuestas á la ley de las atracciones y repulsiones se razona así: Sea una esfera A de masa 2, y otra B de masa 3, por ejemplo, se atraen una hácia otra ó se repelen, en línea recta y siguiendo la línea que une sus centros y siempre en proporción á las masas de ambos cuerpos. Cuando se considera la esfera menor A, se atribuye el movimiento á la acción de la esfera B; y vice-versa, se atribuye el movimiento de esta á la reacción de A. A esto dió Newton el nombre de *principio de la acción y de la reacción.*

Todo lo que se ha dicho acerca de la ley de las masas está comprobado por la experiencia; ya se ha hecho la observación de que donde la materia no existe ó existe en cantidad inapreciable, no hay manifestaciones de la fuerza molecular. Así, los físicos dicen: que *el éter no recibe el movimiento.*

Por el contrario donde hay acumulación de materia los referidos fenómenos adquieren mayor intensidad. Por ejemplo, los cuerpos metálicos, no obstante que según la idea común que se tiene de ellos se muestran los más duros y compactos, los más refractarios al movimiento de sus moléculas, son en realidad precisamente aquellos en que los

movimientos moleculares, esto es, los fenómenos sonoros, caloríficos, eléctricos y magnéticos, se producen con más facilidad. Esto se explica porque los metales tienen en el mismo volúmen mayor número de moléculas que otros cuerpos y por ende las relaciones de las moléculas unas con otras son más íntimas y eficaces, comprobándose así el principio que parece regir á la materia, á saber: que cada molécula vibra por su propia virtud.

De los tres principios fundamentales expuestos: el de la conservación de la materia, el de la conservación de la fuerza y el que establece que la materia y la fuerza varían proporcionalmente, se puede deducir que la energía, en tésis general, es incomunicable, en el sentido de que cada cuerpo tiende á conservar la que le corresponde según su masa.

En efecto, sea M la cantidad total de materia que existe en el Universo, F la cantidad de energía; según el tercer principio á $\frac{M}{2}$ le corresponde $\frac{F}{2}$, á $\frac{M}{4}$ le corresponde $\frac{F}{4}$ y así sucesivamente. Luego si una parte cualquiera de materia adquiere mayor energía de la que le corresponde, esto solo se explicará ó bien porque la cantidad total de materia haya disminuído, ó bien porque la fuerza haya aumentado ó finalmente porque la energía ha dejado de distribuirse en proporción á las masas; y como ninguna de estas tres cosas puede suceder, si son ciertos los principios expuestos, se deduce que la materia no puede perder su energía ó al menos si la pierde conserva siempre la tendencia á recuperarla. Esa tendencia constituye precisamente la ley de la radiación.

Cuando parte de la energía que corresponde á un cuerpo según su masa, ha sido trasmitida á otro cuerpo, existe un estado que se puede llamar anómalo y como se ha dicho se manifiesta en el primer cuerpo la tendencia á recuperar la energía perdida, mientras el otro cuerpo tiende á perder la energía adquirida con exceso.



Así á primera vista podría creerse que el calor se sustraé á la ley según la cual la energía se distribuye en proporción á la masa, ya que los cuerpos son susceptibles de adquirir diferentes temperaturas y que la energía que se denomina calor libre pasa de un cuerpo á otro. Sin embargo el calor obedece á la ley que se examina. En efecto, si se imaginan dos cuerpos sustraídos á la acción calorífica de los demás del Universo; se ha dicho que, si no están á la misma temperatura, obran uno sobre otro sin que resulte de esta acción ningún movimiento visible. El cuerpo más caliente pierde calor, y el otro lo gana en igual cantidad, quedando los cuerpos á igual temperatura y cesando la acción mutua.

Esta tendencia al equilibrio es característica; y hasta que el equilibrio se ha establecido entre los cuerpos, se verifican en su interior ciertas modificaciones correlativas.

Hé aquí un modo de formular la acción mútua de dos cuerpos á temperaturas diferentes. La energía del cuerpo caliente disminuye de un modo gradual, y la del cuerpo frio aumenta en la misma cantidad, hasta que los cuerpos llegan á tener la misma temperatura. Por consiguiente, la energía total del sistema de los dos cuerpos no varía.

Tal es el principio que se ha llamado de la conservación de la energía, que une por medio de un lazo matemático las modificaciones caloríficas de los cuerpos y las que tienen por causa otras fuerzas moleculares.

El ejemplo que se ha tomado de dos cuerpos solamente, es un caso irrealizable en la naturaleza, pues todos los cuerpos del Universo actúan unos sobre otros tendiendo constantemente á alcanzar la misma temperatura.

Una admirable armonía regula todas estas acciones, y cada una de las leyes que se ha logrado formular es solo una subdivisión de la ley mineral que no ha llegado á sorprender la investigación humana.

Coordinando entre sí las materias estudiadas en los

diferentes capítulos de esta segunda parte de la obra podrá comprenderse que en efecto la energía del Sol no es agotable. La prueba completa de ese hecho debe buscarse más bien en el conjunto y enlace de esos razonamientos, á saber: que el sol no tiene la cantidad de calor y de luz que generalmente se supone; que sus efectos dependen de la atmósfera; que ésta, durante el día, se hace luminosa; que entre los diferentes cuerpos del sistema se verifican fenómenos de inducción ó influencia mutua; que la radiación no es causa de pérdidas; y finalmente que la materia misma no puede perder su energía.

Para terminar se hablará del cuerpo llamado radio, ya que en él se observa el mismo fenómeno que se ha señalado en el Sol.

He aquí lo que acerca del referido cuerpo ha indagado la ciencia.

Se llaman radioactivos los cuerpos que tienen la propiedad de emitir espontánea é indefinidamente rayos análogos á los rayos X, invisibles á la simple vista, pero que revelan su presencia haciendo luminosos los cuerpos fosforescentes y fluorescentes ó aumentando su brillo cuando se ha hecho previamente luminosos á estos cuerpos.

El primero de estos cuerpos cuya radioactividad ha sido demostrada, es el uranio, pero el fenómeno se presenta con mayor intensidad en el radio.

El radio constituye una fuente espontánea de luz, de calor y de electricidad. Es luminoso en la oscuridad y los rayos que emanan de este cuerpo atraviesan todos los cuerpos que se han llamado opacos, hasta el plomo. Los rayos del radio parece que no son reflejados ni refractados por los espejos ni por los prismas. La intensidad de su radiación no varía sensiblemente con la temperatura, irradia lo mismo á $+ 40^\circ$ que á $- 200^\circ$.

Así pues el radio es una fuente considerable, natural



y espontánea de energía y como esto se considera opuesto á todas las leyes físicas hasta hoy conocidas, se han inventado teorías meramente fantásticas para explicarlo.

Mas es fácil convencerse de que la misma teoría que explica el mecanismo del Sol puede servir para explicar el radio: este no es más que un sol en miniatura y á su vez el cuerpo central puede compararse á un gigantesco globo de radio. La circunstancia de que los rayos que emite el radio no obedezcan al parecer á las leyes ordinarias de la reflección y de la refracción, se puede explicar por la poca intensidad de tales rayos que haga que dichos fenómenos no sean perceptibles; y causas semejantes pueden encontrarse á las otras manifestaciones de la luz del radio, que inducirían á creer que es una luz distinta de la luz solar y de otra cualquiera clase de luz.

El Sol emite constante é indefinidamente energías luminosas, caloríficas y magnéticas y por efecto de él los planetas en la parte que reciben su acción desarrollan constante é indefinidamente esos mismos fenómenos. Esto, según se ha explicado, sucede sin que haya pérdida de energía y en virtud de las acciones y reacciones mútuas de los cuerpos.

Así la energía del radio no pertenece enteramente á ese pequeño cuerpo: influyen en ella los cuerpos que lo rodean, en cierta manera, el Cosmos todo. Sus emanaciones son efecto de lo que podría llamarse la comunión de la materia.

Se presentan así, en los cuerpos algunas propiedades que en realidad no les pertenecen. Cuando se dice, por ejemplo, que un cuerpo tiene un peso determinado, se atribuye á ese cuerpo un poder y fuerza que no son enteramente suyos. El peso no es sino la gravedad, que varía con las circunstancias: una masa cualquiera en la superficie de la Tierra tiene cierto peso; pero transportada al Sol, donde la gravedad es 28 veces mayor, pesará 28 veces más; y si se le

supone fuera de la acción de toda materia, dejará el cuerpo que se considera de ser pesado.

Por otra parte la fuerza de la gravedad está unida con las otras energías de la materia; la experiencia demuestra que en una barra imantada á saturación la fuerza magnética es proporcional á la raíz cúbica del cuadrado de su peso, ley conocida con el nombre de ley de Haeker y que fué descubierta por Daniel Bernouilli. Según esta ley hay motivos para sospechar que la gravedad y la fuerza magnética están relacionadas por un vínculo causal ó bien que tienen ambas fuerzas una causa común.

Así las diferentes porciones de la materia no son, por decirlo así indiferentes unas á otras; de las mutuas relaciones de esas partes resulta la armonía de lo que se ha llamado el *gran todo*, que una escuela filosófica pretende confundir con el mismo Dios.

Hemos terminado la exposición de un sistema que contribuirá al engrandecimiento de la idea del Cosmos; y que está de acuerdo con lo que la experiencia enseña respecto á la antorcha inextinguible del Mundo, el *incansable sol*, según la bella expresión de Homero.

No hay temor de que el cuerpo central muera de inanición; ni que el paisaje del Universo se decolore, como un cuadro viejo.

Si el Sol por su luz, que es la manifestación más bella de la naturaleza, se ha empleado frecuentemente como imágen de la Divinidad; puede también descubrirse en su mecanismo admirable una semejanza, siquiera sea remota, con lo que los metafísicos dicen acerca de la causa pura, que es según ellos, inmóvil, es decir, que esparce sin discontinuidad, sin descanso la actividad de su esencia, que no conoce ni fatiga ni agotamiento y su acto siendo siempre pleno es igual á sí mismo.

FIN.

# INDICE.



## PRIMERA PARTE.

### MECANICA CELESTE.

## SEGUNDA PARTE.

### FISICA SOLAR.

END OF
TITLE